

BEOBACHTUNGEN ÜBER DIE  
STRUKTUR DES BODENFROSTES

P. KOKKONEN

HELSINKI 1926

## Inhaltsverzeichnis.

	Seite
Einleitung .....	5
I. Struktur des Bodenfrostes .....	12
1. Material .....	12
2. Struktur des Bodenfrostes .....	25
A. Eisfilamente oder Kammeis (»rouste») .....	26
B. Bodenfrost .....	27
a) hohlräumiger Bodenfrost .....	28
b) massiver Bodenfrost .....	29
c) geschichteter Bodenfrost .....	30
II. Über die auf die Struktur des Bodenfrostes einwirkenden Faktoren .....	35
1) Der Wassergehalt .....	35
2) Die Bodenstruktur .....	54



## Einleitung.

Die Veränderungen in der Bodentemperatur und die darauf beruhenden Abweichungen von dem gewöhnlichen Zustand des Bodens sind oft Gegenstand der Untersuchung gewesen. Speziell ersterwähnte wurden von mehreren Forschern behandelt. Von unseren einheimischen Forschern seien hier HOMÉN<sup>1</sup> und KERÄNEN<sup>2</sup> genannt, von denen jener die Veränderungen der Bodentemperatur in Mustiala und in verschiedenen Gegenden von Karjalohja, dieser in Sodankylä mit Hilfe von Thermoelementen untersuchte. Die beiden erwähnten Forscher kamen zu beachtenswerten Ergebnissen, auf die hier nicht näher eingegangen werden soll. Auch zahlreiche ausländische Gelehrte haben die Wärmeleitung im Boden untersucht<sup>3</sup>.

Es liegen bisher noch wenig direkte Bodenfrostduntersuchungen vor. KERÄNEN<sup>4</sup> hat die Dicke des Bodenfrostes und dessen physikalischen Charakter untersucht und interessante Wahrnehmungen über mehrere Schichten des Bodenfrostes in Finnland veröffentlicht. SIMOLA<sup>5</sup> liefert

<sup>1</sup> HOMÉN, THEODOR, Om nattfroster. Helsingfors 1893.

<sup>2</sup> KERÄNEN, J., Über die Temperatur des Bodens und der Schneedecke in Sodankylä nach Beobachtungen mit Thermoelementen. Ann. Acad. Scient. Fennicae. Serie A. Tom XIII N:o 7.

KERÄNEN, J., Beiträge zur Kenntnis des Frostes im Erdboden. Ann. Acad. Scient. Fennicae. Serie A. Tom XX N:o 6.

<sup>3</sup> Vgl. KERÄNEN, J., ebenda.

<sup>4</sup> KERÄNEN, J., Über den Bodenfrost in Finnland. Mitteilungen d. Metereol. Zentralanstalt des finnischen Staates N:o 12. 1923.

<sup>5</sup> SIMOLA, E., Huomioita viljellyn hieta-, savi- ja mutamaan kirren sulamisesta Maanviljelys-taloudellisella Koelaitoksella vuosina 1922 ja 1923. Suomen Maanviljelys-taloudellinen Koelaitos. Tieteellisiä Julk. N:o 21. 1923.

Zahlen über die Dicke des Bodenfrostes und behandelt dessen Auftauen auf oder in kultiviertem Boden. In der Literatur begegnet man hier und da Angaben über die Einwirkung des Bodenfrostes auf den Erdboden. Als geologischer Faktor wurde der Bodenrost von HÖGBOM<sup>1</sup>, HAMBERG<sup>2</sup>, HELLAAKOSKI<sup>3</sup>, SAPPER<sup>4</sup> u. a. behandelt.

Agrikulturphysiker und -chemiker wie WOLLNY<sup>5</sup>, EHRENBERG<sup>6</sup>, MITSCHERLICH<sup>7</sup>, JOHANSSON<sup>8</sup> u. a. haben den Bodenrost speziell mit Hinsicht auf seinen Einfluss auf die Bodenkolloide untersucht.

Untersuchungen, welche die eigentliche Struktur des Bodenfrostes zum Gegenstand haben, gibt es nur wenige. Jedoch ist dem Vorgang des Gefrierens der obersten Bodenschicht, der Entstehung und Struktur des sog. Kammeises schon lange Beachtung geschenkt worden. Schon um 1820<sup>9</sup> wurde eine Erklärung für die Entstehung des sog. Kamm-eises gegeben. Über dieses entwickelten sich dann die mannigfaltigsten Theorien. Letzthin hat u. a. der Schwede HESSELMAN<sup>10</sup> die Entstehung des Kammeises auf Torfböden behandelt und die Ansicht ausgesprochen,

<sup>1</sup> HÖGBOM, B., Über die geol. Bedeutung d. Frostes. Bull. Geol. Inst. of Upsala Vol. 12. 1914.

<sup>2</sup> HAMBERG, A., Zur Kenntnis d. Vorgänge im Erdboden beim Gefrieren u. Auftauen sowie Bemerkungen über die erste Kristallisation d. Eises im Wasser. Stockholms geol. fören. förhandl. Bd. 37, H. 5. 1915.

<sup>3</sup> HELLAAKOSKI, A. R., Havaintoja jäätymisilmioiden geomorfologisesta vaikutuksesta. Helsinki 1912.

<sup>4</sup> SAPPER, K., Erdfließen und Strukturböden in polaren und subpolaren Gebieten. Intern. Mitteil. f. Bodenkunde 4. 1914. S. 43—67.

<sup>5</sup> WOLLNY, E., Untersuchungen über den Einfluss des Frostes auf die physikalischen Eigenschaften des Bodens. Forsch. a. d. Geb. der Agrikulturphysik Bd. XX. S. 439—468.

<sup>6</sup> Vgl. EHRENBERG, P., Die Bodenkolloide, III Aufl. Dresden und Leipzig 1922, S. 127—172.

<sup>7</sup> MITSCHERLICH, A., Ein Beitrag zur Erforschung der Einwirkung des Frostes auf die physikalischen Bodeneigenschaften. Fühling's Landwirtschaftliche Zeitung 1902.

<sup>8</sup> JOHANSSON, S., Die Festigkeit der Bodenarten bei verschiedenem Wassergehalt. Sveriges Geologiska Undersökning. Serie C. N:o 256.

<sup>9</sup> HERSHEL, JOHN, Notice of a remarkable Deposition of Ice round the decaying Stones of Vegetables during Frost. London and Edinburgh. Philos. Magazine Bd. 2. 1833. S. 110. (Zitiert nach HAMBERG, vgl. oben.)

<sup>10</sup> HESSELMAN, HENRIK, Studier över skogsväxt å mossar. Skogsvårdsfören. tidskr. 1907. S. 37.

dass das Kammeis in kolloidreichen Böden immer derart entsteht, dass sich unter der obersten dünnen Bodenschicht eine Wasserschicht bildet, die gefriert und — da sich der kolloidreiche Boden infolge des Sinkens der Temperatur zusammenzieht — zwischen Eis und Erde aus den unteren Schichten neues Wasser heraufpresst, das ebenfalls im Boden gefriert.

Unterzeichneter hat im Zusammenhang mit einer Untersuchung der auf die Instandhaltung von Ablaufgräben einwirkenden Faktoren auch diejenigen Bodenrostformen beschrieben, welche an den Rändern der Ablaufgräben vorkommen<sup>1</sup>.

Nach der Art des Gefrierens des in der Erde befindlichen Wassers wurde der Bodenrost in drei Gruppen eingeteilt:

1. Obereis,
2. Kammeis und
3. Bodenrost.

Als Obereis wurden die Eisbildungen bezeichnet, welche über dem Erdboden entstanden sind.

Zum Kammeis wiederum wurden die unmittelbar in der obersten Bodenschicht entstandenen Eisbildungen gerechnet, in denen nur ganz wenig Bodenmaterial vorkommt.

Mit Bodenrost wurde das Gefrieren der eigentlichen Erde oder richtiger das Gefrieren des in der Erdkruste befindlichen Wassers bezeichnet.

In vorliegender Untersuchung soll die Struktur des Kammeises und des Bodenfrostes oder m. a. W. die Art des Gefrierens des Wassers im Boden behandelt werden.

Der Bodenrost als Naturphänomen ist unter den in Finnland herrschenden klimatologischen Verhältnissen schon deshalb einer Untersuchung wert, weil die Erde durchschnittlich in den südlichen Gegenden vier bis fünf, nördlicher sechs bis sieben Monate lang gefroren ist, und

<sup>1</sup> KOKKONEN, P., Tutkimuksia viemärien kuntoon vaikuttavista seikoista (Studies of circumstances affecting the condition of drainage canals). Summary in English. Acta Forest. Fennica 27,3. 1924. S. 151.

besonders aus dem Grunde, weil der Bodenfrost allem Anschein nach in hohem Grade auf zahlreiche praktische Umstände, wie die Überwinterung der Wintersaat — des Roggens und Weizens —, die Winterfestigkeit des Grasses und Klees, das Wachstum der Bäume im Pflanzenstadium, die Instandhaltung von (offenen und gedeckten) Gräben und Landstrassen von Einfluss ist. Da wir vorläufig über die Struktur des Bodenfrostes nur vereinzelte Beobachtungen haben und auch nicht wissen, ob dieselbe durch irgendwelche Massnahmen verändert werden kann, muss auf eine Untersuchung der obenangeführten Spezialfälle verzichtet werden. Vorliegende Untersuchung wird die Bodenfrostformen und deren Auftreten zum Gegenstand haben. Noch unabgeschlossen sind die Beobachtungen über die Mittel, mit deren Hilfe sich das Auftreten der Bodenfrostformen und deren Mächtigkeit verändern lassen dürfte, über den Einfluss des Bodenfrostes auf die Wintersaat, auf die Überwinterung von Gras und Klee und auf das Wachstum der Bäume.

Eine Untersuchung der Struktur des Bodenfrostes richtet sich naturgemäss auf unmittelbar der Natur entnommenes Material, m. a. W. müssen dabei die Bodenfrostproben direkt aus den Böden genommen werden, deren Bodenfroststruktur erforscht werden soll. In meiner oben erwähnten Untersuchung über die auf die Instandhaltung von Ablaufgräben einwirkenden Faktoren ist eine Beobachtung über die eigentümliche Schichtung des Bodenfrostes auf einem Acker in Mustiala im Sommer 1922<sup>1</sup> vorgeführt. Diese Beobachtung zeigte, dass für die Aufhellung der Bodenfroststruktur eine Untersuchung von Querschnitten möglichst zahlreicher Stellen erforderlich ist. Aus diesem Grunde wurden beim Einsammeln des Materials zahlreiche senkrechte Schnitte in verschiedenen Bodenarten gemacht. Indessen war der Winter 1924—1925 ganz besonders ungünstig für Bodenfrostuntersuchungen. Die damals herrschende warme Witterung hatte zur Folge, dass wegen des Auf-

<sup>1</sup> KOKKONEN, P., ebd., S. 149.

tauens des Bodenfrostes bei weitem nicht so viele eigentliche Messungen vorgenommen werden konnten, als anfangs beabsichtigt war.

Dagegen war der Winter 1925—1926 einer derartigen Untersuchung überaus günstig, wenschon die strenge Kälte,  $-20^{\circ}$  bis  $-30^{\circ}$  C, bei den Messungen hinderlich war.

Die im gefrorenen Boden in senkrechter Richtung ausgeführten Schnitte wurden photographiert und die Art des gefrorenen Wassers näher beschrieben, zugleich wurden Proben zur Bestimmung des Wassergehalts entnommen.

Zu diesem Zweck wurde ein mehr oder weniger grosses Stück gefrorenen Bodens von der Erde abgelöst und zur Behandlung an einen geeigneten Ort gebracht. Um befriedigende und sichere Ergebnisse zu erhalten, musste die Temperatur während der Behandlung mindestens  $-4^{\circ}$  bis  $-5^{\circ}$  C betragen, anderenfalls begann das Probestück aufzutauen, so dass die ursprüngliche Form des Bodenfrostes verloren ging.

Als Werkzeug dienten Axt und Messer, mit denen die zu untersuchende gefrorene Fläche geglättet wurde, sowie eine Säge, mit welcher senkrechte, im Querschnitt viereckige Prismen abgelöst wurden. Diese Prismen wurden in passende Stücke zersägt, die dann näher untersucht wurden. Bei gewissen Bodenarten, insbesondere bei Mo- und Sandböden, wurden die Werkzeuge sehr rasch stumpf, so dass das Schleifen derselben verhältnismässig viel Zeit in Anspruch nahm. Dagegen stumpften die Werkzeuge bei Ton- und Torfböden nicht sonderlich ab. Die Wägungen im Freien wurden mit einer Apothekerwaage ausgeführt.

Folgende Tabelle gibt das während der Untersuchung herrschende Wetter an.

Beobachtungsort	Zeit	Temperatur	
		Maxim.	Minim.
Iisalmi	20.—27. XII. 24	+4	—6
Halikko	2. I. 25		+2
Iisalmi	12.—17. I. 25	+4	—6
Halikko	26.—27. I. 25	+3	—2
Käpylä	28. I. 25		—4
»	29. II. 25		—4
Tammisto	8. II. 25		—4
Mustiala	14. III. 25	+2	—2
Tuusula	23. III. 25	+3	—1
Anjala	9. X. 25	+3	—3
Paimio	30. X. 25		—3
»	12. XI. 25		—1
»	30. XI. 25	—12	—14
»	1. XII. 25	—22	—30
Sysmä	2. I. 26	—10	—14
Iisalmi	6.—9. I. 26	—19	—28

Um einen möglichst genauen Einblick in die Bodenrostformen zu gewinnen, wurden an folgenden Bodenarten Untersuchungen vorgenommen: an Sand-, Mo-, Feinmo- und Tonböden<sup>1</sup>.

Bei Sandböden wurde die Aufmerksamkeit besonders auf die Struktur des Bodenrostes gerichtet; eine eingehendere Untersuchung des Bodenrostes, wie z. B. die des Einflusses der Wassermenge auf die Struktur, verblieb infolge der ungünstigen Witterung durchaus unvollständig. Insbesondere wurden die im Sand auftretenden Eisfilamente oder das Kammeis studiert.

Bei Moböden wurden Beobachtungen zur Klarlegung der Bodenrostformen und der auf den Bodenrost einwirkenden Faktoren ange-

<sup>1</sup> Vgl. FROSTERUS, BENJ., Die Klassifikation der Böden und Bodenarten Finnlands. Agrogeol. Julkaisuja N:o 18. 1924.

stellt. Die im Laufe des Winters 1924—25 gemachten Untersuchungen wurden im darauffolgenden Winter ergänzt.

An Feinmo- und Tonböden wurden die vollständigsten Untersuchungen zur Erforschung der Bodenrostformen und der auf den Bodenrost einwirkenden Faktoren ausgeführt. Die den Feinmoböden betreffenden Untersuchungen wurden im Winter 1924—1925 vorgenommen und ergänzende Kontrollbeobachtungen im Winter 1925—26 ausgeführt. Dagegen wurden im Winter 1924—25 an Tonböden vorbereitende Bodenrostbeobachtungen gemacht, und im Winter 1925—26 wurde das erstmalige Gefrieren des Tons näher untersucht.

Untersuchungen über die Mo- und Feinmo- sowie Torfböden wurden in Iisalmi, im Dorfe Partala auf dem Gelände des Hofes Nurmela und teilweise auch auf Äckern von andern benachbarten Gütern ausgeführt. Sandbodenbeobachtungen wurden in Käpylä, einem Vorort von Helsinki, und auf dem der forstwissenschaftlichen Versuchsanstalt in Tuusula gehörigen Versuchsgebiet Ruotsinkylä angestellt. Die Gefrierbeobachtungen an Tonböden wurden in Halikko gesammelt, wo die gerade damals erfolgten Erdrutsche eine vorzügliche Gelegenheit boten, das erstmalige Gefrieren des Tons zu untersuchen, und in den Tongraben der Ziegelei von Paimio, sowie auf den Äckern von Mustiala, auf welche letzteren speziell die in der aufgepflügten Mullerde gebildeten Bodenrostformen verfolgt wurden.

Die auf Torfböden auftretenden Bodenrostformen wurden hier noch nicht behandelt, weil das Material dazu vorläufig noch unzureichend ist. Es fanden nur einige Notizen über die Wassermenge im gefrorenen Torfboden Aufnahme.

## I. Struktur des Bodenfrostes.

### I. Material.

Für die Aufhellung des Gefrierens und der Struktur des Eises wurden in verschiedenen Gegenden und an verschiedenen Bodenarten Beobachtungen angestellt. Im folgenden werden die wichtigsten dieser Beobachtungen mitgeteilt.

1) Die Beobachtungen in Käpylä. Sandgrube. Der Boden war (recht grober) Sand, in welchem sowohl in bezug auf Färbung als auf Korngrösse verschiedene Schichten vorkamen. In den Wänden der Sandgrube waren starke, 13—14 cm hohe Kammeisschichten entstanden (Abb. 20—24)<sup>1</sup>. In dem die ganze Wand bedeckenden Kammeise liessen sich mannigfache Schichten wahrnehmen, die zu verschiedenen Zeiten entstanden waren. Um Klarheit über die Entstehung des Kammeises zu gewinnen, wurde ein Teil des Sandabhanges entblösst und dem Einfluss des Frostes ausgesetzt. Schon nach Verlauf einer halben Stunde zeigte es sich, dass die Eisnadelbildung begonnen hatte. Hierbei fiel es auf, dass gewisse Nadeln sich viel schneller bildeten als andere. Nach einiger Zeit hörte die Nadelbildung auf und hatte es den Anschein, als verbliebe die Erdoberfläche nun unverändert, doch wurde bei aufmerksamen Verfolgen der Entwicklung eine Erhebung der Bodenfläche als solcher konstatiert. Dies beruhte darauf, dass überall auf der Erdoberfläche sich Nadeln gebildet hatten, welche jetzt mehr oder weniger fest aneinander sassen, wohingegen sie anfangs völlig voneinander geschieden waren. Die so gebildete Eisnadelschicht war von der Unterlage losgelöst, nur eine ganz dünne, 0.5—1 mm starke Erdschicht fasste oben die Nadeln ein. Nach Verlauf einer Nacht betrug die Dicke des Kammeises bereits 5 cm (Abb. 25). Dagegen war die Dicke des alten Kammeises durchschnittlich 13.5 cm. In das Innere der Eisnadeln war bei der Eisbildung verhältnismässig viel festes Erdmaterial eingedrungen, dessen Menge nach einigen Analysen ca. 2—6 % (Gewicht) betrug (vgl. Abb. 23 ja 25).

2. Die Beobachtungen in Anjala. Roggenacker. Mullboden von schwarzer Farbe, Humus ca. 55 %. Das Kammeis hatte sich

<sup>1</sup> Die Abb. 18— befinden sich am Schluss der Arbeit.

über den ganzen Acker gebildet. Seine Dicke betrug 6.5 cm. Von der Oberfläche aus war es kaum bemerkbar. Die Struktur des Kammeises war in diesem Fall genau dieselbe wie im vorigen, nur mit dem Unterschied, dass hier die Eisnadeln, also die gesamte Eisschicht, im allgemeinen reiner waren, nur in ganz vereinzelt Fällen war ein Erdpartikelchen mit den Nadeln in die Höhe gestiegen. Die in der Oberfläche wurzelnde Roggensaart hatte sich zusammen mit dem Kammeis gehoben. Auf demselben Acker gab es jedoch Stellen, an denen sich kein Kammeis gebildet hatte. Es war dies Untergrund, welcher makroskopisch aus Feinmo- und Mo-Ton bestand. Hier waren keine Kammeisbildungen entstanden, sondern der Boden war unter dem Einfluss des Bodenfrostes ohne irgendwelche Eisbildung an der Oberfläche hart geworden. Das Verhältnis dieser Bodenart zum Kammeis bleibt einer späteren Untersuchung vorbehalten.

3. Die Beobachtungen in Tuusula, auf dem Versuchsgelände Ruotsinkylä.

Profil 1. Sandboden von brauner Farbe. Grundwasser in einer Tiefe von etwa 0.6 m. Durch den gefrorenen Boden wurde ein Querschnitt in senkrechter Richtung gemacht, welcher untersucht und photographiert wurde. Am Querschnitt zeigte sich, dass sich im oberen Teil an der Erdoberfläche eine ca. 5—6 cm dicke Eisschicht gebildet hatte (Abb. 26). In dem darunter befindlichen Boden war das Wasser an die Erde angefroren, an letzterer waren keine besonderen Eisschichten zu bemerken, sondern der Bodenfrost war gleichförmig, massiv. In einer Tiefe von etwa 10 cm stiess man auf dünne, etwa 0.5—2 mm starke Eisschichten. Derart gefrorener Boden kam bis in etwa 13 cm Tiefe vor, wo ziemlich dicke Eisschichten auftraten (5—10 mm). Diese dicken Schichten reichten dann bis an den unteren Rand des gefrorenen Bodens (vgl. Abb. 26). Die Richtung der Eisschichten war, wie schon weiter oben erwähnt wurde, wagrecht. Jedoch verliefen sie nicht ganz regelmässig, sondern schlängelten sich allem Anschein nach infolge der Verteilung des Bodenmaterials.

Ein solcher Bodenfrost wird geschichteter Bodenfrost genannt.

Profil 2. Boden wie im vorigen. Im Profil befinden sich unmittelbar unter der Erdoberfläche recht starke Eisschichten, die nicht besonders scharf geschieden waren, da sie voll von Erdpartikelanhäufungen waren (Abb. 27). Die Dicke dieser obersten Eisschichten betrug ca. 8 cm; darunter befand sich recht feste Erde, die jedoch verhältnismässig



zahlreiche feinere und unregelmässige Schichten einschloss. Ungefähr 14 cm tief unter der Oberfläche war eine ausserordentlich starke Eisschicht (ca. 3 cm), in der nur ganz vereinzelte Erdpartikelchen zu finden waren (vgl. Abb. 27). Diese Eisschichtung bricht sich nicht ebensowenig wie die kleineren Eisschichten ab, trotzdem der Boden an der Stelle des Schnittes aus Sanderde in Torfboden überging, wie dies aus Abb. 27 ersichtlich ist. Unter dieser dicken Eisschicht lag dann nur noch eine dünne gefrorene Erdschicht.

Der Bodenfrost war deutlich g e s c h i c h t e t.

Profil 3. Sandboden. Im Querschnitt (Abb. 28) befand sich an der Erdoberfläche eine recht dicke Eisschicht, unter der darunterliegenden Erde zuerst verhältnismässig dünne Eisschichten und erst tiefer, etwa 15 cm unter der Oberfläche, eine ziemlich dicke Eisschicht. Im übrigen waren die Eisablagerungen im Querschnitt den vorigen ähnlich.

Profil 4. Sandboden. Die Formen gewunden, wellenartig, im ganzen jedoch wagrecht verlaufend (Abb. 29). Deutliche Schichtung.

4. Die Beobachtungen in Iisalmi im Winter 1924—25.

Profil 1. Ackerland. Moboden. Folgende Analyse gibt eine Vorstellung von der mechanischen Zusammensetzung des Bodens<sup>1</sup>:

Korngrösse	% in den Proben		
2—0.2 mm	1.0	—	1.3
0.2—0.02 »	82.2	78.8	77.3
0.02—0.002 »	14.4	18.7	19.1
< 0.002	2.4	2.5	2.3

Von diesem Boden wurden mehrere Querschnitte gemacht. Die Dicke des gefrorenen Bodens war im allgemeinen 36 cm. Von der Erdoberfläche ausgehend stiess man in ca. 6 cm Tiefe auf eine etwa 8 mm dicke wagrechte, in 9 cm Tiefe auf eine zweite, wiewohl etwas undeutliche und in einer Tiefe von 18 cm auf eine ausserordentlich deutliche, etwa 2—3 mm dicke Eisschicht. In 26 cm Tiefe fanden sich 2 aufeinanderfolgende Eisschichten, deren Dicke durchschnittlich 2—4 mm betrug (vgl. die untereinander stehenden Abb. 30—32). Die Zwischenräume zwischen diesen Eisschichten waren überall ziemlich gleichartig, jedoch waren die der Erdoberfläche näher gelegenen Teile weniger gleichmässig als die unteren. Abb. 32 (ebenso wie Abb. 1) zeigt, wie die Struktur zwi-

<sup>1</sup> Nach der Pipettierungsmethode von KRAUSS-ROBINSON.

schen den Eisschichten beschaffen war. Zwischen den Eisschichten sieht man kleine, einige Millimeter lange und ein Zehntelmillimeter hohe Eisablagerungen, deren Richtung deutlich wagrecht ist. Desgleichen ist aus Abb. 1 und 2 die Struktur der dickeren Eisschichten ersichtlich. Die mittelste Eisschicht ist isoliert, ohne Begleitschichten (Abb. 31). Dagegen befindet sich oberhalb der eigentlichen dicken Eisschicht eine dünne Eisschicht als Begleitschicht. In anderen Querschnitten werden Eisschichten angetroffen, deren Form aus Abb. 1 und 2 erhellt. Zu beiden Seiten der Hauptschicht befinden sich eine oder mehrere Begleitschichten, deren Dicke — ebenso wie die der Hauptschicht — stark variiert. Die wagrechte Richtung wird nicht beeinträchtigt, selbst wenn sich die Bodenart etwas verändert. In Abb. 2 ist ein Teil dunkler, sehr feiner Erde durch eine punktierte Linie von der umliegenden braunen Erde getrennt. Die Struktur der Schicht im dunk-

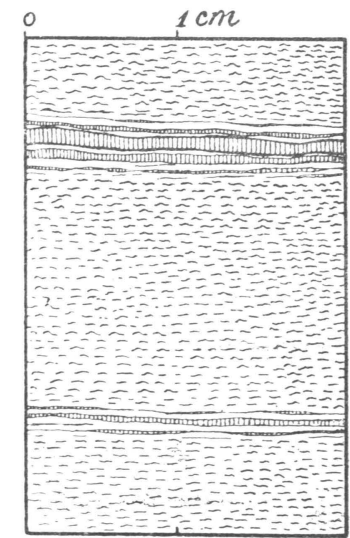


Abb. 1<sup>1</sup>.

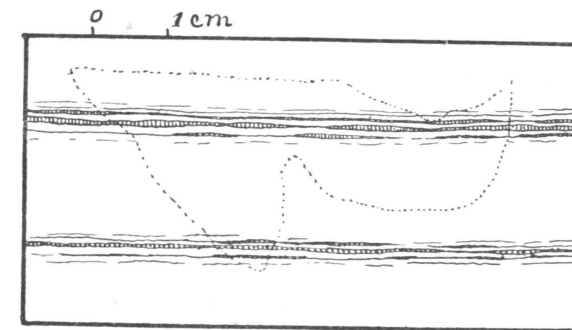


Abb. 2.

anhäufungen ist die Richtung der Eisschichten nicht verändert; nur die Struktur derselben hat sich unbedeutend gewandelt, und zwar gleicht sie den in Abb. 29 früher dargestellten Schichten.

<sup>1</sup> In sämtlichen Figuren gibt die Schraffierung mit senkrechten Linien Eisschichten an.

Einen derartigen, zwischen den Eisschichten vorkommenden gefrorenen Boden kann man auch massiven Bodenfrost nennen, da seine Struktur durchweg gleichförmig ist.

Profil 3. Grasacker. Bodenart Feinmo, dessen mechanische Zusammensetzung aus folgenden Analysen hervorgeht:

Korngrösse mm	In den Proben	
	1	2
2—0.2	4.7 %	— %
0.2—0.02	55.1 »	59.7 »
0.02—0.002	35.2 »	37.7 »
<0.002	5.0 »	2.6 »

Dicke des gefrorenen Bodens 14 cm. In den senkrechten Querschnitten (Abb. 33 und 34) lassen sich mehr oder weniger wagrechte, graue, fast schwarze und weisse Schichten unterscheiden. Die schwarzen und weissen sind Eisschichten, die grauen gefrorene Erde. Etwa 5 cm unter der Erdoberfläche sind die Eisschichten dünn, die darauf folgenden 5—9 cm tief liegenden Eisschichten sind ausserordentlich dick, und in diesem Teil trifft man stets deutlich ausgebildete Eisnadeln, welche senkrecht stehen. Im unteren Teil des gefrorenen Bodens (9—14 cm) waren die Eisschichten sehr dünn. Die grauen Erdschichten liessen keinerlei Eisbildungen erkennen, sondern bestanden aus gleichmässig gefrorener Erde.

Profil 3. Boden von derselben Art wie im vorigen. Dicke des gefrorenen Bodens 14 cm. Im Querschnitt (Abb. 35) lassen sich ganz deutlich dunkle und helle Eisschichten unterscheiden. Etwa 4 cm unter der Erdoberfläche befindet sich eine sehr dicke Eisschicht und 3 cm tiefer eine zweite, dicke Eisschicht. Im Durchschnitt betrug die Dicke dieser beiden Eisschichten 15—20 mm. In der Erde zwischen ihnen konnte man mit blossem Auge keinerlei besondere Eisformen entdecken, so dass sie wie feste Erde aussah.

Die Eisschichten sind im Feinmoboden im allgemeinen ungemein deutlich und rein (vgl. Abb. 33—36). Die genauere Struktur der Eisschichten erhellt aus Abb. 3. Wie man daraus ersieht, sind die Eisschichten ganz unregelmässig, obgleich ihre Richtung im grossen und ganzen wagrecht ist. Die Dicke der Schichten variiert im allgemeinen beträchtlich; es kommen 0.1 mm dicke neben 20 mm dicken Schichten vor. In diesen Fällen lag also geschichteter Bodenfrost vor.

Profil 4. Bodenart die gleiche wie im vorigen Profil. Abb. 37 zeigt einen senkrechten Schnitt durch den Boden. Wie aus der Abbildung zu ersehen ist, bietet der Bodenfrost nichts Regelmässiges dar, sondern ist er durchweg unhomogen. Die Erde war in diesem Falle mit kleinen Hohlräumen durchsetzt. Das Wasser war denn auch hauptsächlich an den Wandungen der Hohlräume gefroren. Das so entstandene Eis war keineswegs homogen. Man fand dichtes Eis, verschieden grosse stabförmige Eisstückchen, an Schneeflocken erinnernde Eisnadeln, welche infolge der lauen Witterung sehr leicht schmolzen. Die Dicke des dichten Eises wechselte stark. Stellenweise

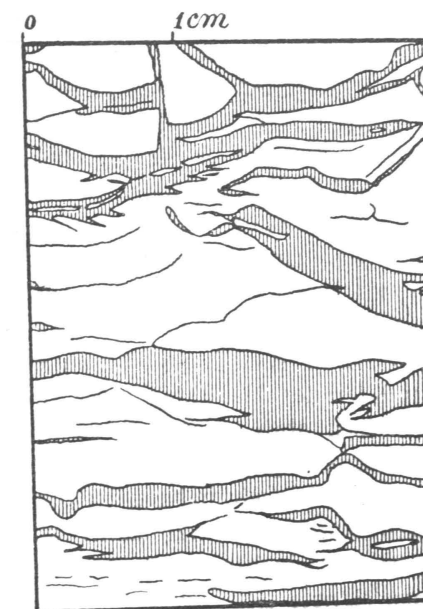


Abb. 3.

gab es 0.1 mm, anderswo 6 mm dicke Eisschichten. Die Wassergehaltsbestimmungen bei diesem Bodenfrost waren mit grossen Schwierigkeiten verbunden, denn die Struktur des gefrorenen Bodens war dermassen zart, dass er bei der leisesten Berührung zerbrach. Trotzdem gelang es, einige Feuchtigkeitsbestimmungen auszuführen.

Einen derartigen Bodenfrost könnte man hohlräumigen Bodenfrost nennen.

#### 5. Die Beobachtungen in Iisalmi im Winter 1925—26.

Profil 5. Der gleiche Boden wie in Profil 2. Dicke des Bodenfrostes 28 cm. Der Boden ist deutlich in Schichten gefroren, wenn auch die Stärke der Eisschichten viel geringer als im vorhergehenden Winter ist. Dies dürfte auf dem trockenen Herbst beruhen, es hatte nämlich im Herbst vor dem Gefrieren des Bodens kaum geregnet. — Der Einfluss der Herbstniederschläge auf die Bildung des Bodenfrostes ist noch nicht näher untersucht.

Profil 6. Der gleiche Boden wie in Profil 2. Roggensaart. Dicke des Bodenfrostes 46 cm. Der Bodenfrost hohlräumig bis in eine Tiefe von 24 cm, worauf geschichteter Bodenfrost folgt (vgl. Abb. 53). Zuerst

sind die Schichten dünn, aber in 37 cm Tiefe beginnen Eisschichten, deren Stärke 25—30 mm betragen kann (vgl. Abb. 52). Das Eis hat in diesen Schichten senkrechte Nadelstruktur, die zuweilen sehr porös und derjenigen des Kammeises ganz ähnlich ist. Unterhalb dieser dicken Eisschichten gibt es dichten, massiven Bodenfrost  $1.0 \times 2.5$  cm.

Profil 7. Der Boden wie in Profil 1. Dicke des Bodenfrostes 47 cm. Dichter, massiver Bodenfrost, in welchem sich bei mikroskopischer Untersuchung ganz kurze und dünne, wagrechte Eisbildungen wahrnehmen lassen, die so winzig sind, dass sie auf der Photographie nicht zum Vorschein kommen.

6. Die Beobachtungen in Halikko. Steifer Tonboden. Am Ufer des Halikko-Flusses fand im Dezember des Jahres 1924 ein Erdrutsch statt, wobei verhältnismässig — etwa 8 m — tiefliegende Tonablagerungen entblösst wurden, von denen man mit einigermaßen grosser Sicherheit behaupten dürfte, dass sie vordem nie gefroren gewesen waren. Es war daher ausserordentlich interessant, die Fläche dieser Tonschichten nach dem ersten Gefrieren zu untersuchen. Allerdings eignete sich, wie schon früher hervorgehoben wurde, der Winter 1924—25 zu derartigen Untersuchungen nur sehr wenig, was zur Folge hatte, dass sich auch die Beobachtungen in Halikko wegen der warmen Witterung nur schwer ausführen liessen und aus diesem Grunde nicht mit der gewünschten Gründlichkeit gemacht werden konnten.

Profil 1. Abb. 38 stellt einen senkrechten Schnitt der Gleitfläche des Erdrutsches etwa 2 Wochen, nachdem letzterer stattgefunden hatte, dar. Man sieht auf der Fläche etwa 2—4 cm stark zerbröckelte Erde, welche durch Gefrieren und Auftauen des Bodens entstanden ist, was wiederum auf der lauen Witterung beruhte (vgl. auch Abb. 39). Diese Oberflächenschicht bestand vorzugsweise aus kubischen Körnern mit reichlich dazwischengelagertem Eis. Auf dem Schnitt sehen die Bildungen maschenförmig aus. Tiefer im Schnitt befinden sich mehr oder weniger wagrecht verlaufende Eisschichten. Diese sind jedoch nicht ganz regelmässig, sondern können sich sowohl nach oben als nach unten schlängeln (vgl. Abb. 40 und 41). Im allgemeinen erscheinen die Eisschichten nahe der Erdoberfläche dicker als die tiefer gelegenen. Besonders verdient der Umstand Beachtung, dass das Erdmaterial zwischen den Eisschichten noch im Januar ungefroren war.

Im ganzen wurden am Erdrutsch von Halikko etwa 15 Schnitte gemacht, welche dem obenbeschriebenen gleich waren (vgl. Abb. 39, 41).

In diesen Profilen ging das Gefrieren in ungefähr gleicher Art vor

sich. An der Erdoberfläche war unter dem Einfluss des Gefrierens und Auftauens eine 2—4 cm starke, körnige Erdschicht entstanden, in der zwischen den Erdkörnern Eis eingelagert war. Unterhalb dieser Schicht begannen die eigentlichen Eisschichten, deren Richtung anfangs bis zu einem gewissen Grad von der Neigung der Erdoberfläche bestimmt wurde, tiefer unten jedoch verliefen sie überall mehr oder weniger wagrecht (vgl. Abb. 39—40).

Folgende Zahlen geben einen Begriff von der Dicke der Eisschichten sowie von dem mit Eis bedeckten Querschnittflächeninhalt<sup>1</sup>.

Tabelle I.

Profil Nr.	Entfernung der Proben von d. Erdoberfläche cm	Dicke des Bodenfrostes mm	Dicke mm	Anzahl	Querschnittflächeninhalt in % von d. Gesamtfläche
			der Eisschichten		
1	5	30	18.2	8	60.5
	8	30	11.9	7	39.7
	11	30	5.4	2	18.0
2	4	30	16.8	6	56.0
	7	30	16.0	5	53.3
	10	30	8.8	3	29.4
	13	30	4.7	2	15.7
3	6	20	10.2	4	51.0
	8	20	4.7	6	23.5
	10	20	4.0	1	20.0
	12	20	2.3	1	11.5
4	3	25	17.4	8	69.7
	7.5	25	14.7	7	58.6
	10	25	9.3	7	37.2
	12.5	25	5.1	5	20.4
	15	25	2.4	2	9.6

Wie aus den obenangeführten Zahlen ersichtlich ist, nimmt die Dicke der Eisschichten und deren Querschnittflächeninhalt mit zunehmender

<sup>1</sup> Nach den aus den Photographien berechneten Flächeninhalten.



Entfernung von der Erdoberfläche ab. Hieraus folgt, dass die Eisschichten bei zunehmender Eisbildung stärker werden und ihr Maximum erreichen, wenn das in den umliegenden Bodenmassen verbliebene Wasser gefriert.

In sämtlichen Proben aus Halikko trat der geschichtete Bodenfrost besonders deutlich zu Tage.

7. Die Beobachtungen aus Paimio. Da es in Halikko im Winter 1924—25 infolge des ungefrorenen Bodens nicht möglich gewesen war, den Wassergehalt des gefrorenen Bodens zu untersuchen, wurden im Winter 1925—26 zu diesem Zweck Beobachtungen in den Tongruben der Ziegelei von Paimio angestellt. Der in Paimio vorkommende Ton ist steif und ungefähr von derselben Art wie derjenige in Halikko. Folgende Zahlen geben die mechanische Zusammensetzung des Bodens<sup>1</sup> an:

Korngrösse mm	In den Proben	
	1	2
2—1	— %	— %
1—0.5	— »	0.4 »
0.5—0.25	— »	0.9 »
0.25—0.1	1.8 »	0.4 »
0.1—0.05	3.1 »	2.5 »
0.05—0.01	1.3 »	4.0 »
0.01—0.002	25.2 »	34.3 »
<0.002	68.6 »	57.0 »

Zwecks Untersuchung des Bodenfrostes wurde der Beobachtungsort im Sommer von den freiliegenden Tonstücken gesäubert und geglättet. Die derart entblösste Fläche lag 2.3 m tief unter der eigentlichen Erdoberfläche und befand sich etwa 100 m weit von einem kleinen, ziemlich tiefen Nebenflüsschen. Es darf angenommen werden, dass der Boden an dieser Stelle früher nie gefroren gewesen war, denn in der Erde konnte nicht die geringste Spaltenbildung in wagrechter Richtung bemerkt werden. Nur in senkrechter Richtung gab es einige Risse. Die Versuchsstelle wurde Anfang November gereinigt und frei von Schnee erhalten. Ende November war der Boden des Beobachtungsortes infolge der strengen Kälte dermassen gefroren, dass der Bodenfrost am 30. Novem-

<sup>1</sup> Diese Analysen sind in dem Staatl. Agrikulturchemischen Laboratorium (Leiter Dr. E. S. TOMULA) gemacht worden.

ber und 1. Dezember, wo die Untersuchungen daselbst ausgeführt wurden, etwa 22 cm betrug. Mit Axt und Brechstange wurde ein viereckiges Stück gefrorenen Bodens von etwa 0.5 m Seitenlänge abgelöst, dessen senkrechte Seite geglättet und gesäubert wurde, wobei der Querschnitt des Bodenfrostes zu Gesicht kam. Abb. 42—45 stellen den Querschnitt dar<sup>1</sup>.

Man ersieht aus denselben, dass die Dicke der Eisschichten an der Erdoberfläche viel geringer als etwa 4 cm tiefer ist, wo sie ausserordentlich gross ist. Etwa wiederum 10 cm tiefer beginnt dünnerer geschichteter Bodenfrost. Die Gesamtstärke des Bodenfrostes beträgt 22 cm. Wie die Abbildung zeigt, haben sich an der Erdoberfläche keine solchen zerbröckelten Schichten gebildet, wie sie sich in den in Halikko gemachten Beobachtungen nachweisen liessen, sondern die Schichten sind von der Erdoberfläche an durchaus gleichartig. Dies beruht darauf, dass in diesem Jahr auf den Frost keine warme Witterung gefolgt war, die den Bodenfrost aufgetaut und den Boden zerbröckelt und körnig zerkleinert hätte.

Aus einer eingehenden Prüfung des Bodenfrostquerschnittes geht, wie aus Abb. 44 zu ersehen ist, hervor, dass beim Gefrieren des Bodens starke Kräfte entwickelt werden, die ihn zerbröckeln. Aus derselben Abbildung zeigt sich, dass die im gefrorenen Boden befindlichen Eispartikelanhäufungen die Bildung von Eisschichten nicht sonderlich beeinträchtigen, sondern dass sie ebenso wie andere Teile des Tons, obgleich in stärkeren Schichten zerbrechen. Im Querschnitt sind ebenfalls senkrechte Risse im Boden zu bemerken. Sie sind schon früher vorhanden gewesen oder aber infolge der Zusammenziehung des Tones entstanden.

Auch in diesem Falle handelt es sich um deutlich geschichteten Bodenfrost.

8. Die Beobachtungen in Mustiala. Dieselben wurden auf verschiedenen Äckern ausgeführt, die teils aus hartem Ton, teils aus Mo-Ton bestanden.

Profil 1. Roggensaat. Ein Erdrücken. Der Boden harte Tonerde. Dicke des Bodenfrostes 38 cm. — An der Bodenoberfläche befand sich eine 3 cm hohe Schicht recht massiven und gleichmässigen Bodenfrostes, in welcher sich keine Spur von Schichtung bemerken liess, also massiver Bodenfrost. Unter dieser Schicht begann der geschichtete Bodenfrost,

<sup>1</sup> Die in den Bildern hervortretenden senkrechten, teilweise weissen Striche rühren von der Axt her, mit welcher der gefrorene Boden geglättet wurde.

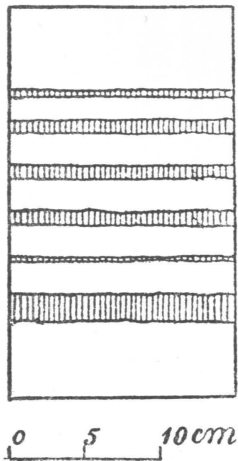


Abb. 4.

in welchem die Eisschichten verhältnismässig dünn waren (0.1—0.6 mm) und die Schichten selbst recht weit — etwa 2—8 cm — auseinander lagen. In der Längsrichtung waren die Eisschichten recht regellos gelaßt. Doch verblieb ihre Richtung deutlich wagrecht.

Profil 2. Roggensaar. Der Ort eine kleine Senkung. Tonboden. Dicke des Bodenfrostes etwa 26 cm. Abb. 4 und 46 stellen den senkrechten Schnitt des Bodenfrostes dar. In diesem befand sich in einer Tiefe von 5.5 cm eine ziemlich starke Eisschicht, in 8 cm Tiefe eine zweite etwa 1.2 cm dicke, in 11 cm Tiefe eine dritte, in 14 cm Tiefe eine vierte, ebenfalls deutliche und etwa 1.5 cm dicke Eisschicht.

In 16.5 cm Tiefe begann eine dünne und schwache Eisschicht, in 20 cm Tiefe jedoch lag eine nicht weniger als 4 cm dicke, ausserordentlich deutliche Eisschicht.<sup>4</sup>

Die Schichten verliefen im allgemeinen wagrecht, nur an der Stelle des hohlräumigen Bodenfrostes machte die mittelste Eisschicht eine Krümmung nach oben (vgl. Abb. 46). Zwischen diesen grossen Eisschichten gab es zahlreiche kleine, 0.1—2 mm dicke Schichten, deren Richtung im allgemeinen wagrecht, wenn auch viel weniger regelmässig als bei den obenerwähnten grossen Schichten war. Abb. 48 zeigt das Bild der untersten grossen Schicht mit den um diese herum gelagerten kleineren Schichten in natürlicher Grösse. (Von der Entwicklung der Photographien herrührende Schatten stören das Bild ein wenig.) Wie man aus dem Bilde ersieht, ist die grosse Eisschicht sehr kompliziert. Man sieht hier und da grosse Tonpartikel wie schwimmend in der grossen Eismasse. Die senkrechte Strichelung beruht auf dem Auftauen des Eises zu Nadeln. Aus demselben Grunde lässt sich auch in den kleineren Eisschichten eine senkrechte Strichelung bemerken. In Abb. 49 sieht man das Bild des obenerwähnten Hohlraumes. Die Dicke der an den Wandungen des Hohlraumes befindlichen Eisschichten ist sehr wechselnd. An manchen Stellen können sie 8 mm, an anderen nur 0.5 mm dick sein. Der Bodenrost war teilweise hohlräumig, teilweise geschichtet, mit zwei Arten von Schichten: 1) unregelmässige und verhältnismässig kleine und 2) grosse fortlaufende, sich weiter erstreckende.

Profil 3. Roggensaar. Kleine Talsenkung. Tonboden. Dicke des

Bodenfrostes 25 cm. Im senkrechten Querschnitt war die Struktur des Bodenfrostes in ihren Hauptzügen die gleiche wie im vorigen Profil. (Abb. 5 stellt den senkrechten Schnitt des Bodenfrostes dar). Die oberste Eisschicht befand sich etwa 4 cm unterhalb der Erdoberfläche, und ihre Stärke wechselte von 2.0—6.0 mm. Die zweite Eisschicht war 7 cm von der Erdoberfläche gelegen und 0.5—3.0 mm dick. Dann folgten unter dieser 3 etwa 6—12 mm dicke Eisschichten, die erste in 11 cm, die zweite in 14 cm und die dritte in 17 cm Tiefe. Diese Schichten verliefen wagrecht. Die Ränder der Schichten waren nicht besonders scharf; sie konnten die mannigfaltigsten Windungen und Haken bilden (vgl. Abb. 6). Zwischen den Eisschichten befanden sich ebenso wie im vorigen Querschnitt zahlreiche dünnere Eisschichten.

Der Bodenrost war in diesem Fall geschichtet.

Profil 4. Roggensaar. Neuland. Tonboden. Stärke des Bodenfrostes 38 cm. Beim Schnitt fand man etwa 3 cm unter der Erdoberfläche eine 2—6 mm dicke, wagrechte Eisschicht. Unterhalb dieser Schicht gab es keine dicke Eisschicht mehr, sondern nur ganz feine und geschlängelte Schichten, welche an den früher beschriebenen Schnitt erinnerten (vgl. Abb. 32).

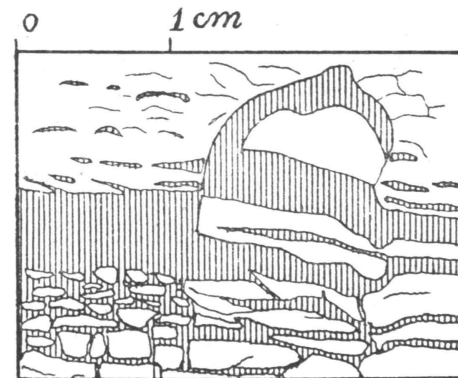


Abb. 6.

Schicht etwa 6.5 cm. Im Innern der Eismasse wird man zahlreiche mehr oder minder grosse Erdklumpen gewahr, im allgemeinen derart verteilt,

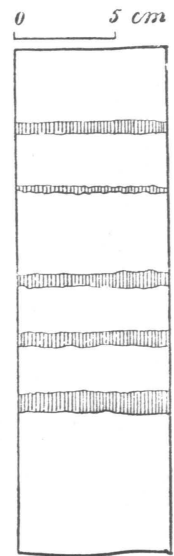


Abb. 5.

In diesem Schnitt fand man also geschichteten und massiven Bodenrost.

Profil 5. Roggensaar. Tonboden. Dicke des Bodenfrostes 30 cm. An der Erdoberfläche lag ein 3 cm starker, sehr dichter, massiver Bodenrost, unter diesem eine sehr starke Eisschicht (vgl. Abb. 7). Die Entfernung der Eisschicht von der Erdoberfläche betrug also 3 cm, diejenige des unteren Randes 9.5, somit betrug die Dicke der

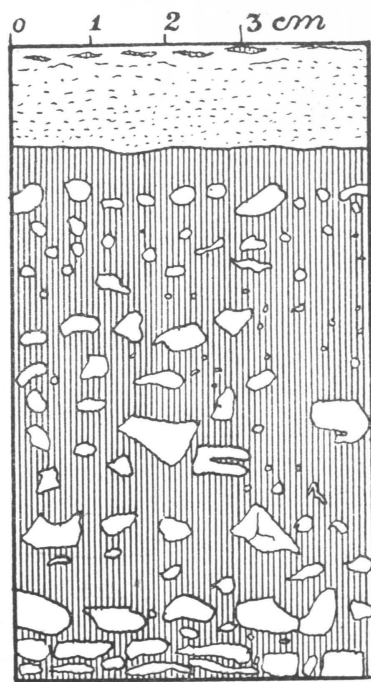


Abb. 7.

dass der oberste Teil der Eisschicht aus reinem Eis bestand und weiter nach unten um so mehr Erdmaterial auftrat, je näher man dem unteren Rande kam. Eine derartige Struktur gibt gewissermassen einen Fingerzeig, wie die Bildung der Schichten vorsichgeht. Sicherlich ist der obere Teil der ältere und entstanden, als das Wasser leicht aus dem Boden aufstieg. In den unteren Teil sickerte das Wasser langsamer, wobei sich die Erde bei eintretendem Froste so abkühlte, dass sie Stück für Stück am Eise anfror und in dasselbe hineingeriet. Je weniger Wasser durchsickerte, um so mehr Erde kam in die Eisschichten, bis schliesslich kein Wasser mehr durchzusickern vermochte und die Eisschichtbildung aufhörte. Unterhalb dieser Eisschicht befand sich flachgeschichteter Bodenrost.

Profil 6. Grasacker, Tonboden. Dicke des Bodenrostes 26 cm, im senkrechten Profil sind 5 verschiedene Eisschichten zu unterscheiden, welche etwa 4 bis 5 cm voneinander entfernt lagen; die erste Schicht befand sich 6 cm tief unter der Erdoberfläche. Die Dicke der Eisschichten war nicht besonders gross, auch waren die Schichten nicht sonderlich einheitlich, wenn sich auch ihre Richtung deutlich erkennen liess (Abb. 50). Zwischen diesen Schichten befanden sich reichlich teils Hohlräume, teils ganz harte Erde, in der sich keinerlei besondere Eisbildungen nachweisen liessen.

Dieser Schnitt enthielt hohlräumigen, geschichteten und massiven Bodenrost zusammen.

Profil 7. Grasacker, mit gedeckten Gräben. Mo-Tonboden. Dicke des Bodenrostes 38 cm. Im Boden keinerlei regelmässige Bodenrostschichten (vgl. Abb. 51). Die Eisschichten unregelmässig, ihre Dicke wechselte beträchtlich, 0,1—8 mm. Sehr zahlreiche Hohlräume, von denen sich denn auch die Unregelmässigkeit der Eisschichten herleitet. Die Hohlräume nicht sonderlich gross. Ihre Wandungen waren mit einer sehr feinen Eisschicht bekleidet, welche zuweilen, besonders im oberen

Teil des Hohlraumes völlig zerschmolzen war. Im unteren Teil des Hohlraumes konnte sich recht dickes Eis befinden, das selbstverständlich durch das von oben abgeflossene Wasser entstanden war.

Der Bodenrost war demgemäss ein ungemein typischer hohlräumiger Bodenrost.

Profil 8. Grasacker, Tonboden. Dicke des Bodenrostes 26 cm. An der Erdoberfläche (vgl. Abb. 47) lag eine 5 cm dicke, sehr trockene Schicht und unter dieser in recht grossem Umfang hohlräumiger Bodenrost, dessen Eisschichten überaus dünn (0,1—0,4 mm) waren. In einer Tiefe von 16—20 cm befanden sich zwei recht deutliche Eisschichten. Im Querschnitt bemerkte man das mit Eis angefüllte Loch eines Mistkäfers und in diesem, in 15 cm Tiefe einen zusammengerollten Regenwurm. (Der Wurm war nicht gefroren, obgleich er von gefrorenem Boden umgeben war.)

Im Querschnitt finden wir also dreierlei Bodenrost, an der Erdoberfläche den massiven, darunter eine Mischung von massivem und hohlräumigem Bodenrost und zu unterst undeutlich geschichteten Bodenrost, in welchem die Eisschichten sehr fein waren.

9. Sandgrube. Käpylä 4. XII. 25. Grober Ufersandboden. Im Sande hatten sich 15—20 cm voneinander wagrechte, 20 mm dicke Eisschichten gebildet, welche ausserordentlich deutlich hervortraten (vgl. Abb. 8). Der zwischen den Eisschichten befindliche Boden war gefroren. Doch konnten mit unbewaffnetem Auge keine besonderen Eisbildungen um die Sandpartikel herum wahrgenommen werden.

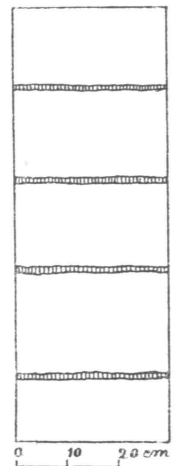


Abb. 8.

## 2. Struktur des Bodenrostes.

Auf Grund der voranstehenden Beobachtungen lassen sich also in bezug auf die Art und Weise des Gefrierens des Bodens folgende Bodenrostarten unterscheiden:

A. Eisfilamente oder Kammeis (finnisch »rouste«)

## B. Bodenfrost

- a. hohlräumiger
- b. massiver
- c. geschichteter.

## A. Eisfilamente oder Kammeis.

Unter Kammeis ist an der Erdoberfläche entstandenes, nadelförmiges Eis zu verstehen, an dessen Oberfläche sich eine dünne, höchstens 2 mm starke Erdschicht befindet.

HESSELMAN<sup>1</sup> hat den Bau des Kammeises auf Torfböden beschrieben. Es wird von senkrecht gestellten Eisnadeln gebildet, auf denen eine feine Erdschicht liegt. Es ist dies die einfachste Kammeisstruktur. Gewöhnlich ist jedoch der Oberflächenfrost ein mehrschichtiger, was auf dem zu verschiedenen Zeiten eingetretenen Gefrieren beruht. Hierbei bemerkt man sowohl im Innern der Nadeln als auch zwischen denselben reichlich Erde. Sehr häufig befindet sich zwischen den Schichten eine ähnliche Bodenschicht wie auf der obersten Nadelschicht.

Wie sich schon aus den Beobachtungen ergab, geht die Entstehung der Eisnadeln anfangs nicht überall gleich schnell, sondern an gewissen Stellen viel schneller als anderswo vor sich, und insbesondere entwickeln sich die einzelnen Nadeln ausserordentlich rasch. Nach einiger Zeit gefriert die dünne oberste Bodenschicht, wonach die Entwicklung der einzelnen Eisnadeln aufhört und sämtliche Eisnadeln sich von nun an gleichmässig rasch entwickeln, da sie mehr oder weniger dicht aneinander gefroren sind. Jedoch ist das derart entstandene Nadeleis durchaus nicht homogen, denn es sind darin mehr oder minder grosse Hohlräume zu finden, welche in der Weise entstanden sind, dass eine oder mehrere Eisnadeln infolge von Wassermangel in ihrer Entwicklung stehen geblieben sind. Besonders im Sandboden ist die Bildung des Kammeises ungleichmässig.

<sup>1</sup> HESSELMAN, HENRIK, a. a. O., S. 37.

Die Wassermenge des unterhalb des Kammeises befindlichen Sandes geht aus untenstehenden Zahlen hervor.

Tabelle II.

Probe	Wasser in	
	Gewichts-%	Volum-%
1	12.5	20.5
2	16.4	29.4
3	13.8	20.5
4	17.8	28.0
5	15.4	29.6
6	14.7	24.7
7	14.5	26.2
8	16.9	27.5

Die Wassermenge ist also verhältnismässig hoch und schwankt merklich.

Das Kammeis tritt gewöhnlich in Sand-, Mo-, Feinmo-, Ton-, Mull- und Torfböden auf. Wie schon S. 13 bemerkt wurde, kommen allerdings auch solche Bodenarten vor, in welchen es sich nicht bildet oder wo sein Auftreten beim derzeitigen Zustand des Bodens unmöglich ist. Das Kammeis der verschiedenen Bodenarten weist allerhand Eigenheiten auf, doch soll auf diese hier nicht näher eingegangen werden. Es sei noch erwähnt, dass das Kammeis sich bloss auf nacktem oder nur dürrig mit Pflanzen bedecktem Boden, niemals auf mit dichter Vegetation bewachsenen Böden bildet.

## B. Bodenfrost.

Mit Bodenfrost wird der oberste Teil des Erdbodens bezeichnet, in dem das daselbst befindliche Wasser infolge der Temperatur unter 0° C gefriert, wodurch sich eine harte gefrorene Bodenschicht bildet.

Der Bodenfrost kann sich bei genügend lang anhaltender kalter Witterung unter Kammeis bilden. Er entsteh' überall, wenn auch seine



Bildung durch gewisse Umstände, wie Pflanzen-, Schneedecke u. dgl. verzögert und behindert werden kann<sup>1</sup>. Da jedoch diese Umstände keinerlei Einfluss auf die Struktur des Bodenfrostes selbst ausüben dürften, wurden sie in diesem Zusammenhang nicht näher untersucht.

#### a. Der hohlräumige Bodenfrost.

Bei dem hohlräumigen Bodenfrost ist das Wasser an den Wandungen der im Boden befindlichen Hohlräume gefroren und in den Erdpartikeln selbst Wasser nur in geringen Mengen anzutreffen.

Die Dicke der an den Wandungen der Hohlräume gefrorenen Eisschichten scheint sehr beträchtlich wechseln zu können. Es kommen Fälle vor, wo das Eis 12—14 mm dick ist, und andere, in denen es nicht 1 mm dick wird. Die Eisschichten sind keineswegs regelmässig, sondern das Eis besteht aus den mannigfaltigsten Nadeln und Pfeilern. Oft sind es stabförmige, flaschenförmige Nadeln, welche sehr verschieden gross sind. Auch blattförmige Nadeln, welche sich der Schneeflockenform nähern, kommen vor. Diese primären Bildungen verschwinden jedoch oft unter der Einwirkung warmer Witterung, und an ihre Stelle treten feste, dicke und teilweise massive Eisbildungen.

Eine Bestimmung des Wassergehalts nach Volum- oder Gewichtsprozenten lässt sich am hohlräumigen Bodenfrost nur sehr schwer ausführen, da die Struktur des Bodenfrostes so zart ist, dass sich ein Volumen von bestimmter Grösse nicht aus ihm herauslösen lässt. Es gelang nur, einige wenige Proben zu entnehmen, und auch diese sind bei weitem nicht einwandfrei.

Die aus ihnen erhaltenen Wassermengen sind folgende:

<sup>1</sup> HANN, J., Lehrbuch der Meteorologie. 2. Aufl. Leipzig 1915. S. 54.  
KOKKONEN, P., a. a. O., S. 149.

Probe	Wasser	
	Gewichts-%	Volum-%
1	74	28
2	81	11
3	78	8
4	55	11

Wie aus obigen Zahlen hervorgeht, schwankt der Wassergehalt beträchtlich.

Der hohlräumige Bodenfrost ist sehr heterogen, weshalb sein Wassergehalt sehr variabel ist.

Der hohlräumige Bodenfrost kommt bis zu einem gewissem Grade in sämtlichen Bodenarten, jedoch vorzugsweise in bearbeiteten Ackerböden vor.

#### b. Der massive Bodenfrost.

Wie früher auseinandergesetzt wurde, gefriert ein Teil des Wassers um die Erdpartikel herum, wobei ein durchweg gleichartiger, massiver, beinahe homogener Bodenfrost entsteht.

Der massive Bodenfrost bildet zuweilen grosse einheitliche Stücke, manchmal wiederum tritt er im Verein mit den andern Bodenfrostformen auf.

Den massiven Bodenfrost kann man im Hinblick auf seine Struktur in zwei Gruppen teilen:

- in 1) völlig massiven und in
- 2) halbwegs massiven.

Im völlig massiven Bodenfrost sind keinerlei bemerkenswertere Eisbildungen zu konstatieren, sondern da ist der Boden gleichmässig fest.

Im halbwegs massiven Bodenfrost lassen sich dünne, kurze Eisbildungen bemerken, deren Längsrichtung deutlich wagrecht ist.

Im Tonboden ist der massive Bodenfrost sehr dicht. Gewöhnlich sind mit blossen Auge keine Eisbildungen zu erkennen, da sie ausserordentlich klein sind. Es handelt sich hier um primäre Eisbildung, wo-

bei der gefrorene Tonboden völlig gleichmässig, ohne die geringsten Poren ist. Ist jedoch der Tonboden längere Zeit dem Einfluss der Luft ausgesetzt gewesen, so wird er — besonders bei steifem Ton — körnig und sieht dann ebenso wie Mo oder Sand aus. Hierbei bilden sich auch bei massivem Bodenrost kleine, auch schon mit blossen Auge wahrnehmbare Eissbildungen, die meistens unregelmässig sind, wenn auch ihre Hauptrichtung wagrecht ist (halbwegs massiver Bodenrost). Die Dicke dieser Eissbildungen ist nur sehr unbedeutend (unter 0.1 mm).

Der im Feinboden entstandene Bodenrost ist im grossen und ganzen dem im Tonboden entstandenen sehr ähnlich. Auch hier sehen wir keinerlei besondere Eissbildungen, sondern eine Bodenmasse, in welcher das zwischen den Erdpartikeln befindliche Wasser gefroren ist, wodurch der Boden hart geworden ist.

Im Moboden entsteht fast immer halbwegs massiver Bodenrost, und hier findet man zwischen den Erdpartikelchen entstandene, zum Teil dünne (0.1 mm) und etwa 3—4 mm lange Eisschichten, die zuweilen recht geschlängelt sein können, deren Richtung jedoch im allgemeinen wagrecht ist. Die Anzahl der Eisschuppen pro cm<sup>2</sup> schwankte in den untersuchten Fällen zwischen 80 und 240 (vgl. Abb. 32).

Im Sandboden entsteht vorzugsweise massiver Bodenrost, da die Wasserkapazität des Sandes nur gering ist. Im Sand kann sich sogar so wenig Wasser befinden, dass selbst beim Gefrieren desselben die Erdpartikel nicht aneinander haften.

### c. Der geschichtete Bodenrost.

Der geschichtete Bodenrost unterscheidet sich von dem vorgerannten insofern, als das Wasser im Boden in regelmässigen, nahezu ausnahmslos wagrecht verlaufenden Schichten gefroren ist. Die Schichten können zusammenhängend, ausgedehnt oder kurz, wenig umfangreich, regelmässig oder unregelmässig sein. Sie können sehr dicht übereinander liegen oder auch vereinzelt und weit voneinander entfernt auftreten. Zwischen den Eisschichten ist der Boden massiv gefroren.

Im geschichteten Bodenrost lassen sich also 2 Teile unterscheiden: gefrorene Erde und eigentliche Eisschichten. Man hat es also mit einem deutlich geschichteten Bodenrost zu tun, sobald Eis- und Erdschichten mehr oder weniger regelmässig abwechselnd vorkommen.

Bei eingehender Prüfung der Eisschichtbildung treten in dieser beträchtliche Verschiedenheiten hervor. In Abb. 3, 4 und 9 gibt der schraffierte Teil die Eisschichten an. Hier ist die Form der Schichten ausserordentlich unregelmässig. Die Schichtträger sind sehr deutlich und scharf. Die Eisschichten werden unterbrochen und können ihre Richtung verändern, obgleich diese im grossen und ganzen wagrecht verbleibt. In diesen Fällen sind die Eisschichten unregelmässig. In Abb. 48 ist der grösste Teil des Flächeninhalts, abgesehen von der Mittelpartie, mit unregelmässigen Schichten bedeckt, für welche gerade eine sehr wechselnde Dicke und Länge und teilweise sogar Richtung charakteristisch ist.

Es verdient besondere Beachtung, dass die unregelmässigen Schichten keine weite Ausdehnung haben. Dagegen kommen über weite Flächen sich erstreckende Schichten vor, die durchweg eine einigermaßen gleichmässige Dicke beibehalten. In den Abb. 1, 2, 4, 5, 6, 7, 8, 27, 28, 30—32, 46, 48 und 50 haben wir Schichten, die sich sehr weit erstrecken und deren Dicke überall ziemlich gleich ist.

Diese zusammenhängenden Schichten unterscheiden sich recht auffallend voneinander. In manchen Fällen befinden sich zu beiden Seiten einer grossen Eisschicht eine oder mehrere dünne Schichten, wodurch die Schichten eine Schichtengruppe bilden (vgl. Abb. 1 und 2). In anderen Fällen tritt die Hauptschicht einzeln auf, doch besitzen ihre verschiedenen Teile eine voneinander abweichende Struktur, und zwar so, dass der obere Teil einer einzelnen Eisschicht stets aus reinem Eis besteht und der untere stets mehr oder weniger mit Erdpartikeln untermischt ist (Abb. 7).

Demgemäss können folgende Arten von Schichten unterschieden werden:

- 1) Unregelmässige

2) zusammenhängende, fortlaufende

- a) einzelne und
- b) gruppenweise

Im Sandboden kommen gewöhnlich weit ausgedehnte Eisschichten vor, die recht weit voneinander belegen sind (Abb. 8 und 27), ob schon auch unregelmässige und geschlängelte Eisschichten nicht selten sind (Abb. 26 und 29).

Im Moboden ist die Schicht zusammenhängend und langgestreckt. Ihre Dicke kann sehr schwankend sein; einmal kann sie 0.1 mm, ein andermal 5 mm betragen. Abb. 1 und 2 geben einen Schnitt durch eine in Moboden entstandene Eisschichtbildung wieder. In der Eisschicht befinden sich mehrere Schichten, deren mittlere die dickste Hauptschicht ist (etwa 1—3 mm). Zu beiden Seiten derselben liegt eine dünnere Eisschicht (0.2—0.6 mm). Noch weiter ausserhalb von dieser gibt es noch etwas dünnere Eisschichten als die letzterwähnte. Die Eisschichten werden allmählich immer dünner, bis schliesslich der massive Bodenfrost einsetzt. In manchen Eisschichtungen lassen sich 3 verschiedene Eisschichten, in anderen 5, 6, 8, ja sogar 10 Eisschichten nebeneinander gelagert unterscheiden, die zusammen einen Schichtenkomplex bilden. In anderen Fällen ist die Eisschicht ganz isoliert, ohne alle begleitenden dünneren Schichten (vgl. Abb. 31). In diesen Fällen ist die Eisschicht gewöhnlich dicker als in den weiter oben beschriebenen.

Im Feinmoboden sind die Eisschichten in ihren Grundzügen sehr unregelmässig. Ausserdem sind sie oft ausgedehnt und laufen in vielfach geschlängelten Labyrinth zusammen (vgl. Abb. 3 und 33—36).

Die im steifen Ton vorkommenden primären Eisschichten sind auch nicht annähernd regelmässig, wenn auch ihre allgemeine Richtung wagrecht ist. Die Grenze zwischen den Eisschichten und der Erde ist immer ausserordentlich scharf, und Begleitschichten kommen nicht vor (Abb. 40 und 41).

Im früher schon gefrorenen steifen Tonboden ist die Schichtstruktur eine andere. Hier gibt es weitgestreckte, zusammenhängende, regelmässige Schichten, zwischen denen schmale

unregelmässige Schichten gelagert sind. Die Stärke der ersteren kann ca. 5—8 cm betragen, und an ihrem oberster Rand liegt gewöhnlich eine ganz reine Eisschicht (vgl. Abb. 7). Unterhalb derselben befindet sich Eis mit hier und da eingestreuten Erdstückchen, oben mehr Eis als Ton, unten umgekehrt, enthaltend. Häufig verschwindet die Eisschicht nach und nach, und die gefrorene Erde wird dominierend. Die zwischen diesen mächtigen Eisschichten eingebetteten unregelmässigen Schichten sind meistens sehr dünn und unansehnlich (vgl. Abb. 48).

Ob der Boden Untergrund oder Krume ist, scheint auf die Entstehung von Eisschichten keinen Einfluss zu haben. Abb. 2 stellt einen Fall dar, wo die Eisschichten durch ein im Krumboden befindliches Stück des Untergrundes hindurchgehen, ohne dass die Eisschichtstruktur im geringsten davon beeinflusst wird. In diesem Fall handelt es sich um ein und dieselbe Bodenart.

Jedoch lassen sich im Moboden auch andere Schichten bemerken, insbesondere an der Erdoberfläche. In einem Fall befinden sich etwa 4 cm unter der Erdoberfläche Eisschichtungen (Abb. 30), deren Schicht-ränder bei stets wagrechter Richtung der Schicht sehr uneben sind. An manchen Stellen kann die Eisschicht 8 mm dick sein, an anderen wiederum nur 2—3 mm. Worauf diese Unregelmässigkeit zurückzuführen ist, lässt sich auf Grund der angestellten Untersuchungen nicht näher erkennen.

Auf die Anzahl und Dicke der Eisschichten übt selbstverständlich die Menge von reinem Eis einen grossen Einfluss aus. Folgende Tabelle soll dieses Verhalten beleuchten.

Tabelle III. Dicke der Eisschichten im Feinmoboden.

Probe	Eis- volumen %	Anzahl der Eisschichten, wenn die Dicke der verschiedenen Eisschichten . . . mm ist											
		0.1	0.2	0.3- 0.4	0.5- 0.7	0.8- 1.0	1.1- 1.5	1.6- 2.0	2.1- 3.0	3.1- 4.0	4.1- 5.0	5.1- 7.0	7.1- 15
VIII	23.2	19	31	14	9	8	4	—	—	—	—	—	—
VII	25.6	24	25	15	9	2	—	—	—	—	—	—	—
VI	26.6	27	16	7	11	7	4	—	—	—	—	—	—
VIII	28.6	22	7	11	6	7	2	1	1	—	—	—	—
Summe		92	79	47	35	24	10	1	1	—	—	—	—
Anzahl der Eisschichten pro Probe . . . }		23	19.75	12	9	6	25	0.25	0.25	—	—	—	—
Verhältnis der Eis- menge . . . . . }		23	40	42	54	54	33	6	6	—	—	—	—
VI <sub>5</sub>	31.1	17	17	13	15	14	5	2	—	—	—	—	—
VII <sub>6</sub>	34.4	24	16	22	17	11	4	1	—	—	—	—	—
VII <sub>7</sub>	36.2	9	5	7	8	3	3	3	3	—	—	1	—
VI <sub>2</sub>	38.0	9	14	8	9	6	3	3	4	—	—	—	—
Summe		59	52	50	49	34	15	9	7	—	—	1	—
Anzahl der Eisschichten pro Probe . . . }		14.75	13.0	12.50	12.25	8.50	3.75	2.25	1.75	—	—	0.25	—
Verhältnis der Eis- menge . . . . . }		14	26	44	73	76	49	41	44	—	—	15	—
VIII <sub>2</sub>	42.1	10	9	7	7	3	1	3	4	1	—	1	—
Verhältnis der Eis- menge . . . . . }		10	18	25	42	27	13	54	100	35	—	—	—
VII <sub>3</sub>	54.9	9	4	8	7	7	14	9	3	5	—	1	—
VIII <sub>3</sub>	55.7	7	13	7	11	11	9	6	7	3	2	1	—
Summe		16	17	15	18	18	23	15	10	8	2	2	—
Anzahl der Eisschichten pro Probe . . . }		8	8.50	7.5	9	9	11.5	7.5	5	4	1	1	—
Verhältnis der Eis- menge . . . . . }		8	17	19	54	81	149	135	125	180	45	60	—
VI <sub>3</sub>	63.5	3	3	8	10	6	5	4	10	3	4	—	1
VII <sub>4</sub>	66.6	5	6	9	6	5	7	2	9	5	3	—	—
Summe		8	9	17	16	11	12	6	19	8	7	—	1
Anzahl der Eisschichten pro Probe . . . }		4	4.5	8.5	8	5.5	6.0	3.0	9.5	4	3.5	—	0.5
Verhältnis der Eis- menge . . . . . }		2	5.0	30	48	50	78	54	238	140	158	—	2.1
I	74.5	6	3	4	12	4	5	6	6	1	2	6	2
Verhältnis der Eis- menge . . . . . }		12	6	14	72	36	65	108	150	35	90	360	170

Aus obenstehender Tabelle geht hervor, dass die Eisschichten stets dünner sind, wenn das Volumen des Eises gering ist, und dass um so dickere Eisschichten auftreten, je mehr Eis vorhanden ist. Die Eismenge der dickeren Eisschichten übersteigt bedeutend die der dünnen, trotzdem die Anzahl der ersteren viel geringer ist.

Der geschichtete Bodenfrost kommt verhältnismässig häufig in sämtlichen Bodenarten vor.

Die Eisschichten richten sich in ihrem Verlauf im allgemeinen nach der Erdoberfläche. Doch kann man Eisschichten finden, welche wagrecht liegen (z. B. im Tonboden von Halikko).

In Anbetracht des spärlichen Materials lassen sich jedoch in dieser Hinsicht noch keine endgültigen Schlussfolgerungen ziehen.

## II. Über die auf die Struktur des Bodenfrostes einwirkenden Faktoren.

Ausser der Temperatur spielt bei der Bildung des Bodenfrostes auch die in der Erde befindliche Wassermenge sowie die Struktur des Bodens eine Rolle. Im folgenden sollen diese beiden Faktoren einer näheren Prüfung unterzogen werden.

### Der Wassergehalt.

Um das Verhältnis zwischen Wassergehalt und Bodenfrost klarzulegen, wurden zweierlei Bestimmungen ausgeführt, nämlich 1) Bestimmungen über den Gesamtwassergehalt und 2) Bestimmungen über die in den Eisschichten enthaltene Wassermenge. Bei letztgenannten ergab sich natürlich die um die Erdpartikel herum gefrorene Wassermenge vermittels einer einfachen Berechnung. Der Gesamtwassergehalt wurde folgendermassen bestimmt: Aus dem zu untersuchenden, gefrorenen Boden wurde senkrecht ein im Querschnitt quadratisches Prisma gesägt,



welches dann im allgemeinen so durchgeteilt wurde, dass das Stück einem Würfel glich. Die Seiten des Würfels wurden mit dem Messer von den mit der Säge abgelösten und teilweise aufgetauten Stoffen gesäubert und die beim Sägen eventuell entstandenen Unebenheiten geglättet. Die Kanten des Würfels wurden gemessen und hiernach das Volumen des Würfels in  $\text{cm}^3$  berechnet. Darauf wurden die Stücke in Pergamenttüten gelegt. Die Bodenfrostprobe wurde mitsamt der Tüte gewogen und das vorher bestimmte Gewicht der Tüte subtrahiert. Die derart gewogenen Tüten wurden in Leinwandsäckchen gesteckt und so ins Laboratorium gebracht. Im Laboratorium wurden die Bodenfrostproben mit den Papiertüten getrocknet, indem man sie wenigstens 8 Stunden bei  $105\text{--}110^\circ\text{C}$  im Trockenschrank liegen liess. Darauf wurden die Proben gewogen und aufs neue für etwa 3 Stunden in den Trockenschrank gelegt, worauf sie wieder gewogen wurden. Hatte das Gewicht beim letzten Trocknen doch noch abgenommen, so wurde nochmals getrocknet und gewogen. Die beim Trocknen erfolgte Gewichtsabnahme der Papiertüten wurde in der Weise bestimmt, dass 40 Stück davon bei gleicher Temperatur getrocknet und das Mittel ihrer Gewichtsabnahme berechnet wurde.

Über die Gesamtwassermenge seien für die verschiedenen Bodenarten folgende Resultate nach Profilen mitgeteilt:

Tabelle IV. Torfboden (Abb. 9).

P r o f i l e											
1			2			3			4		
Tiefe cm	Volumen ‰	Gewicht ‰	Tiefe cm	Volumen ‰	Gewicht ‰	Tiefe cm	Volumen ‰	Gewicht ‰	Tiefe cm	Volumen ‰	Gewicht ‰
0–2.4	86.8	95.5	0–2.1	78.8	80.0	0–2.3	93.8	87.2	0–3.0	80.7	83.8
2.4–5.4	79.5	86.4	2.1–5.4	74.2	75.7	2.3–5.2	89.7	81.3	3.0–5.9	84.3	78.3
5.4–8.4	83.3	78.7	5.4–8.3	82.7	77.7	5.2–7.6	81.7	76.4	5.9–8.6	83.4	77.5
8.4–12.4	84.4	76.8	8.3–10.2	80.3	73.9	7.6–9.9	81.6	73.0	8.6–11.9	78.5	79.7
12.4–16.3	80.0	74.0	10.2–16.2	84.9	74.4	9.9–12.8	77.1	74.0	11.9–15.9	69.8	79.7

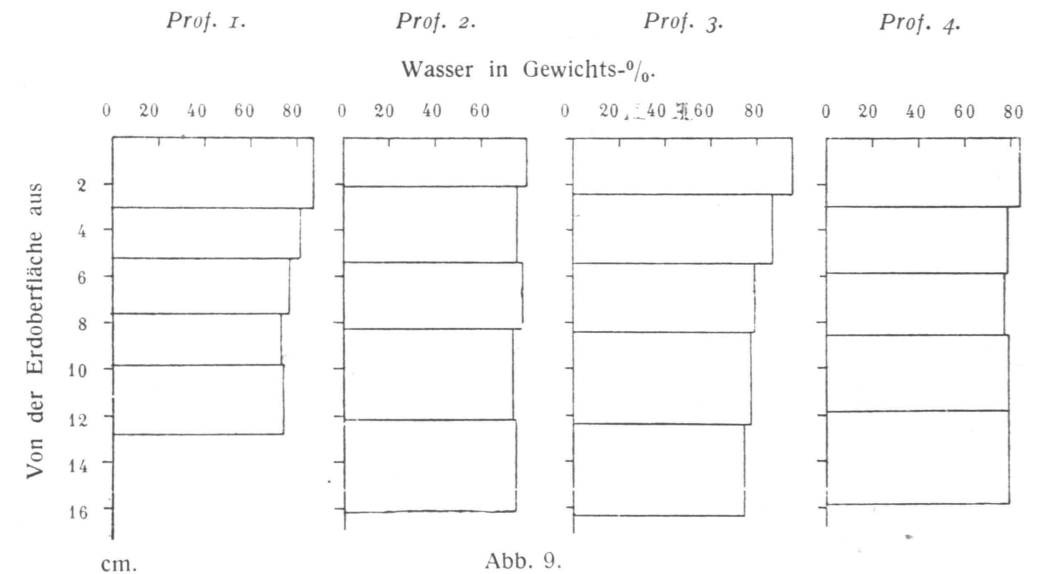


Tabelle V. Moboden (Abb. 10).

P r o f i l e					
1			2		
Tiefe cm	Volumen %	Gewicht %	Tiefe cm	Volumen %	Gewicht %
0- 4.0	63.9	38.9	0- 3.2	74.2	58.3
4.0- 8.4	55.5	33.7	3.2- 6.5	66.9	51.3
8.4-11.5	66.4	46.2	6.5-10.0	61.1	47.2
11.5-14.7	52.8	33.8	10.0-13.7	68.7	46.3
14.7-17.7	63.2	43.0	13.7-17.6	65.8	38.3
17.7-22.3	46.2	34.6	17.6-21.7	58.3	40.5
22.3-27.2	58.5	35.5	21.7-26.7	60.3	39.7
—	—	—	26.7-31.0	64.3	41.2
—	—	—	31.0-35.0	60.5	38.9

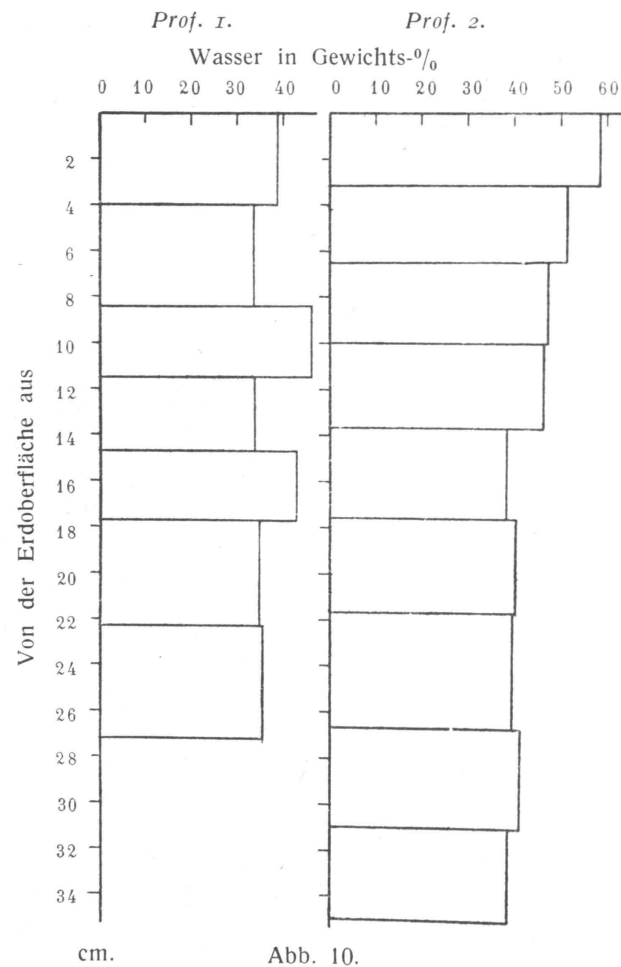


Tabelle VI. Feinmoboden (Abb. 11).

P r o f i l e								
1			2			3		
Tiefe cm	Volumen %	Gewicht %	Tiefe cm	Volumen %	Gewicht %	Tiefe cm	Volumen %	Gewicht %
0- 3.0	83.6	76.7	0- 2.0	76.1	77.0	0- 2.5	84.3	82.4
3.0- 5.8	70.0	54.3	2.0- 4.1	67.5	54.2	2.1- 5.0	71.7	54.9
5.8- 9.0	74.1	59.2	4.1- 7.3	71.8	57.3	5.0- 8.6	71.7	54.7
9.0-12.2	70.8	54.4	7.3-10.5	73.7	62.9	8.6-11.7	75.0	63.3
12.2-15.1	58.9	37.7	10.5-12.5	65.5	43.7	11.7-14.7	61.9	39.3
15.1-17.6	59.0	41.1	12.5-15.6	64.2	44.4	14.7-17.5	65.3	45.1
—	—	—	—	—	—	17.5-18.9	57.2	29.4

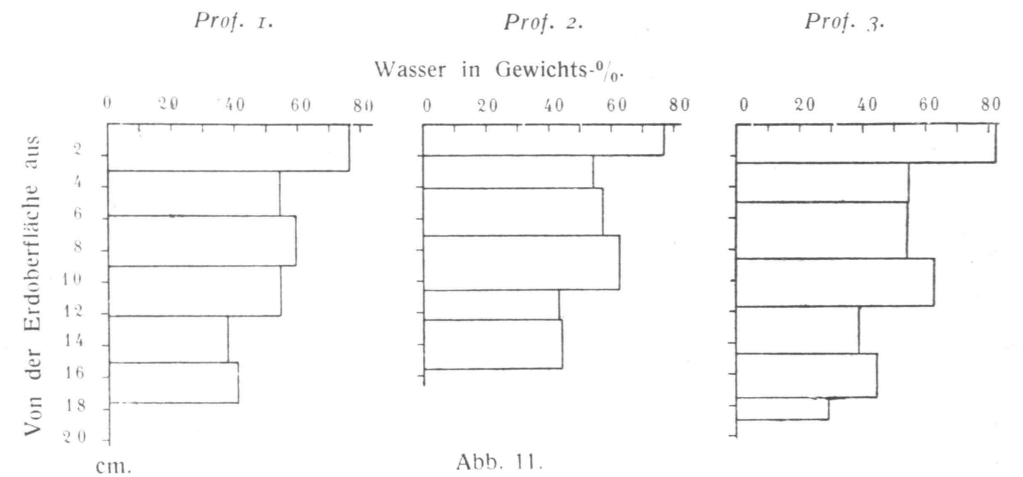
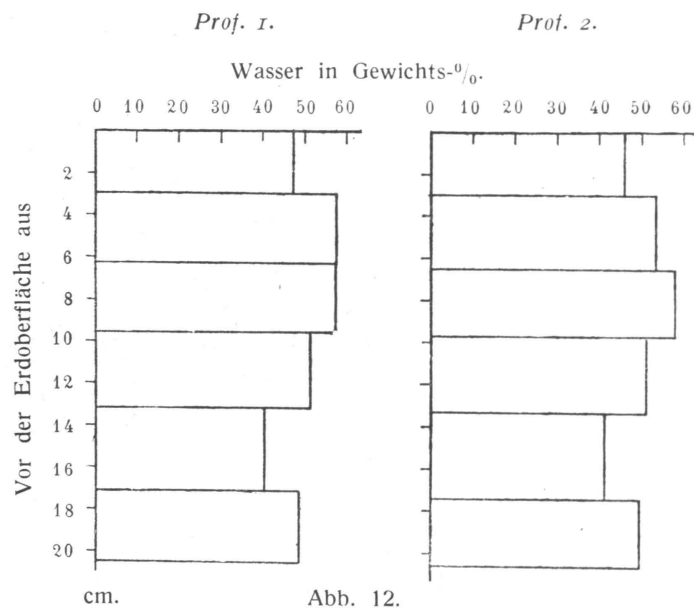


Tabelle VII. Tonboden (Abb. 12).

P r o f i l e					
1			2		
Tiefe cm	Volumen %	Gewicht %	Tiefe cm	Volumen %	Gewicht %
0— 3.0	68.2	47.0	0— 3.0	66.1	46.0
3.0— 6.3	74.2	57.8	3.0— 6.5	67.7	53.5
6.3— 9.6	73.9	57.5	6.5— 9.7	75.0	58.0
9.6—13.2	70.3	51.2	9.7—13.3	70.2	51.3
13.2—17.1	66.3	40.1	13.3—17.4	67.8	41.4
17.1—20.5	69.1	48.6	17.4—20.6	70.1	49.9

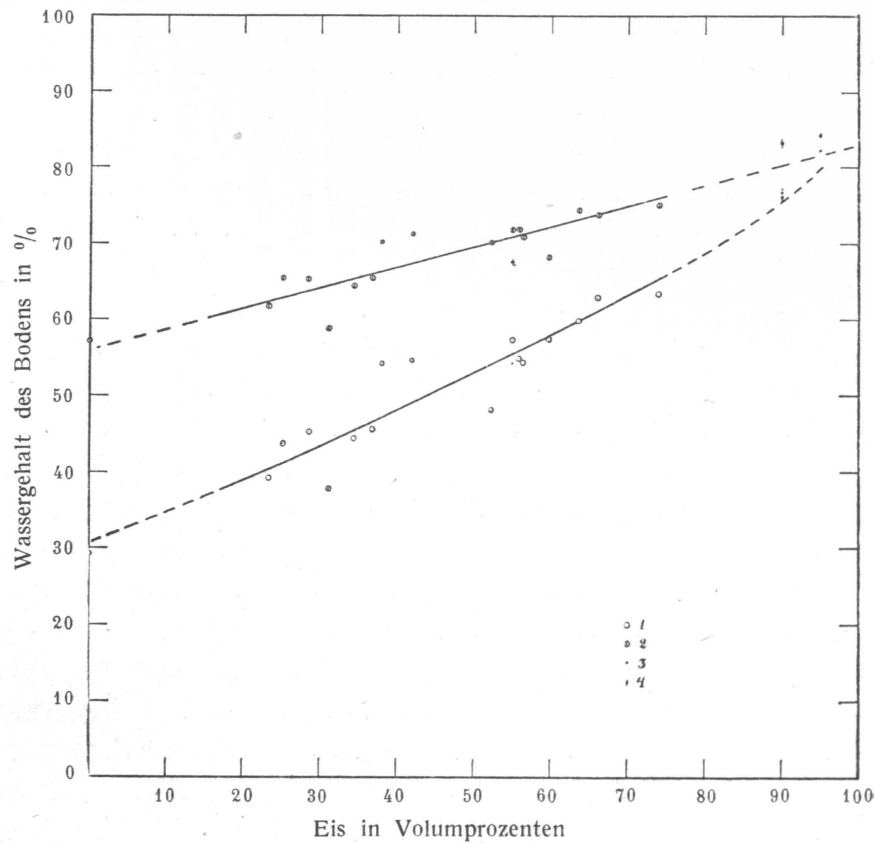


Wie aus obenstehenden Zahlen und den entsprechenden Zeichnungen (Abb. 10—13) erhellt, nimmt der Gesamtwassergehalt im *T o r f b o d e n* im allgemeinen nach der Tiefe zu ab, wenn auch keineswegs in allen Fällen und regelmässig. Im *M o b o d e n* ist die Abnahme regelmässiger, obgleich auch hier Ausnahmen vorkommen. Im *F e i n m o b o d e n* ist dasselbe der Fall: eine Abnahme des Wassergehalts lässt sich feststellen, ist jedoch nicht regelmässig. Im *T o n b o d e n* findet keinerlei Abnahme statt.

Sowohl die Herbstregen als auch das im Winter eintretende Tauwetter haben einen bedeutenden Einfluss auf die Gesamtwassermenge, so dass bezüglich dieser keinerlei Gesetzmässigkeit zu erwarten ist.

Um die Menge des reinen Eises zu bestimmen, wurde der Versuch gemacht, mit einem Messer die gefrorene Erde und das Eis voneinander abzulösen. Diese Arbeit erwies sich indessen als so schwierig, dass sie nicht zu einwandfreien Resultate geführt hätte, weswegen der Versuch aufgegeben wurde. Hierauf wurde zu dem sog. Messungsverfahren gegriffen. Aus dem zu untersuchenden gefrorenen Bodenstück wurden senkrechte, im Querschnitt quadratische Prismen ausgesägt, wie schon weiter oben beschrieben wurde. Diese Prismen wurden behufs Bestimmung des reinen Eises derart in Stücke geteilt, dass die in ein und demselben Stücke vorkommenden Eisschichten ungefähr gleich breit waren. Man erhielt dadurch Stücke, deren Volumen unschwer bestimmt werden konnte. An jedem dieser Stücke wurde an vier oder fünf Stellen, nämlich in der Mitte jeder Seite sowie an einer der senkrechten Seitenkanten die Dicke der Eisschichten in senkrechter Richtung gemessen. Der Mittelwert der so erhaltenen Masszahlen gab die senkrechte Dicke des Eises in den betreffenden Stücken an. Da nun das Volumen des Stückes bekannt war, konnte das Volumen des reinen Eises ohne Schwierigkeit berechnet werden. Nach der Messung wurde das untersuchte Stück in eine Pergamenttüte gelegt und gewogen, worauf dasselbe Verfahren wie bei der Bestimmung des Gesamtwassergehaltes wiederholt wurde.

Sollten zuverlässige Resultate erzielt werden, so mussten sämtliche



1 in Gewichtsprozenten  
 3 » » (unsicher)  
 2 » Volumprozenten  
 4 » » (unsicher)

Abb. 13. Das Verhältnis zwischen dem reinen Eis und dem Wassergehalt des Feinmobodens (I).

oben beschriebenen Arbeiten im Freien bei einer Temperatur von mindestens  $-4^{\circ}\text{C}$  ausgeführt werden. Bei höherer Temperatur begann der gefrorene Boden beim Sägen aufzutauen, wobei sich seine ursprüngliche Konsistenz veränderte.

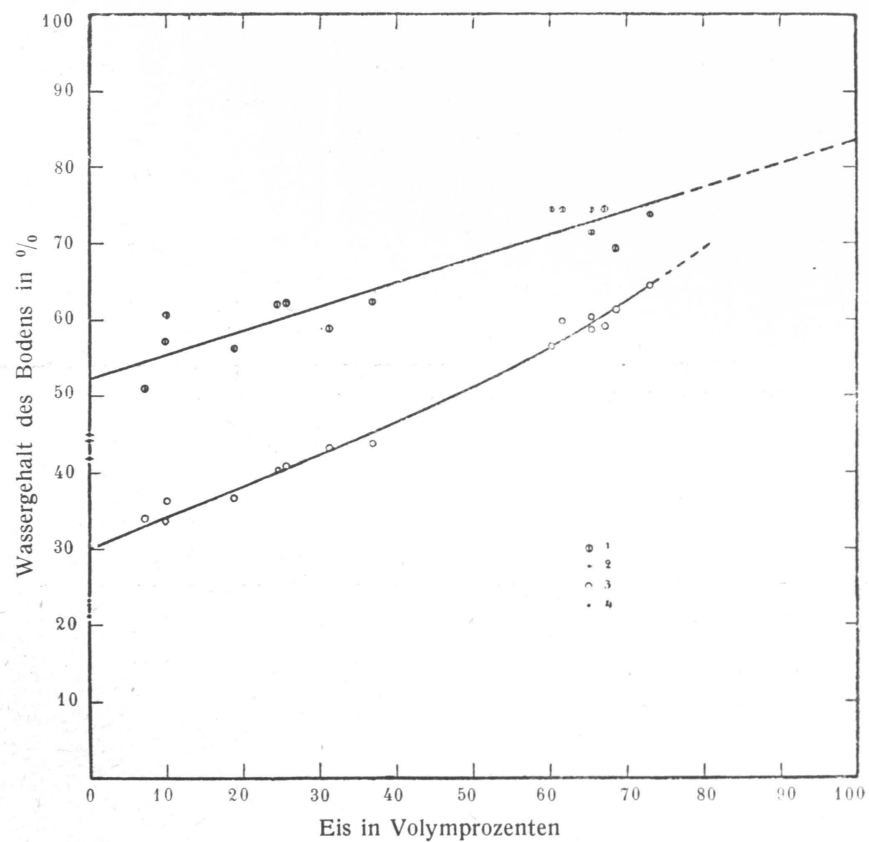
Nachstehende Tabelle VIII enthält das »Messungsprotokoll« eines Bodenfrosthwürfels.

Tabelle VIII.

Probe Nr. 5.	Profil VI.	Iisalmi 14. I. 25.
2.95      3.34	Das Säckchen mit dem Boden-	
Basis (2.94 + 2.96) (3.36 + 3.32)	frostwürfel wog. ....	41.47 gr.
Höhe (2.55 + 2.54 + 2.50 + 2.50)	Das Säckchen wog. ....	2.48 » 38.99 gr.
2.53	Das getrocknete Säckchen mit der	
	Erde wog. ....	26.62 »
Volumen 24.928 cm <sup>3</sup> .	Das getrocknete Säckchen wog	2.32 » 24.30 »
	Wasser	14.69 »

Dicke der Eisschichten in mm an verschiedenen Messungstellen									
Stelle 1		Stelle 2		Stelle 3		Stelle 4		Stelle 5	
Gemessene Ober- und Untergrenze der Eisschichten	Dicke der Eisschichten	Gemessene Ober- und Untergrenze der Eisschichten	Dicke der Eisschichten	Gemessene Ober- und Untergrenze der Eisschichten	Dicke der Eisschichten	Gemessene Ober- und Untergrenze der Eisschichten	Dicke der Eisschichten	Gemessene Ober- und Untergrenze der Eisschichten	Dicke der Eisschichten
0.2- 0.6	0.4	0- 1.1	1.1	0- 1.3	1.3	0.6- 0.8	0.2	0- 0.8	0.8
1.8- 2.4	0.6	1.6- 2.4	0.8	2.2- 2.5	0.3	2.1- 3.7	1.6	1.7- 3.0	1.3
3.3- 3.5	0.2	3.0- 3.1	0.1	3.1- 3.6	0.5	4.3- 4.9	0.6	4.2- 6.0	1.8
3.8- 4.5	0.7	3.8- 4.6	0.8	3.9- 4.1	0.2	5.1- 5.9	0.8	6.1- 6.6	0.5
5.8- 6.0	0.2	6.3- 7.3	1.0	4.8- 5.7	0.9	7.0- 7.2	0.2	7.9- 8.0	0.1
6.4- 7.2	0.8	8.7- 8.8	0.1	7.0- 7.2	0.2	9.3-10.6	1.3	8.4- 9.7	1.3
8.5- 9.1	0.6	10.0-10.3	0.3	8.5- 8.6	0.1	11.7-12.1	0.4	10.9-11.7	0.8
10.1-10.4	0.3	11.0-11.2	0.2	9.6-10.1	0.5	14.0-14.2	0.2	13.8-14.7	0.9
11.3-11.6	0.3	12.0-12.8	0.8	10.4-11.4	1.0	16.7-17.3	0.6	15.0-15.1	0.1
11.9-12.6	0.7	13.9-14.2	0.3	12.8-12.9	0.1	20.2-21.1	0.9	15.3-15.6	0.3
15.3-15.5	0.2	15.2-15.3	0.1	13.4-13.6	0.2	22.3-22.2	0.1	19.0-19.2	0.2
16.2-16.6	0.4	15.9-16.0	0.1	14.7-15.7	1.0	22.8-23.1	0.3	20.0-20.2	0.2
17.0-17.3	0.3	16.7-16.8	0.1	16.7-17.2	0.5	24.3-24.6	0.3	21.0-21.5	0.5
18.9-19.0	0.1	17.1-17.6	0.5	18.2-19.0	0.8	—	—	22.0-22.1	0.1
20.3-20.4	0.1	19.1-19.3	0.2	19.7-19.8	0.1	—	—	24.2-24.4	0.2
22.5-23.0	0.5	20.6-20.8	0.2	22.4-22.6	0.2	—	—	—	—
24.5-25.0	0.5	21.4-22.0	0.6	23.3-23.7	0.4	—	—	—	—
—	—	24.1-24.3	0.2	24.3-24.4	0.1	—	—	—	—
Summe	6.9		7.5		8.4		7.5		9.1

Eis 7.88 mm oder 31.1 % des Volumens  
 Wasser 58.9 % des Volumens,  
 37.7 % des Gewichts

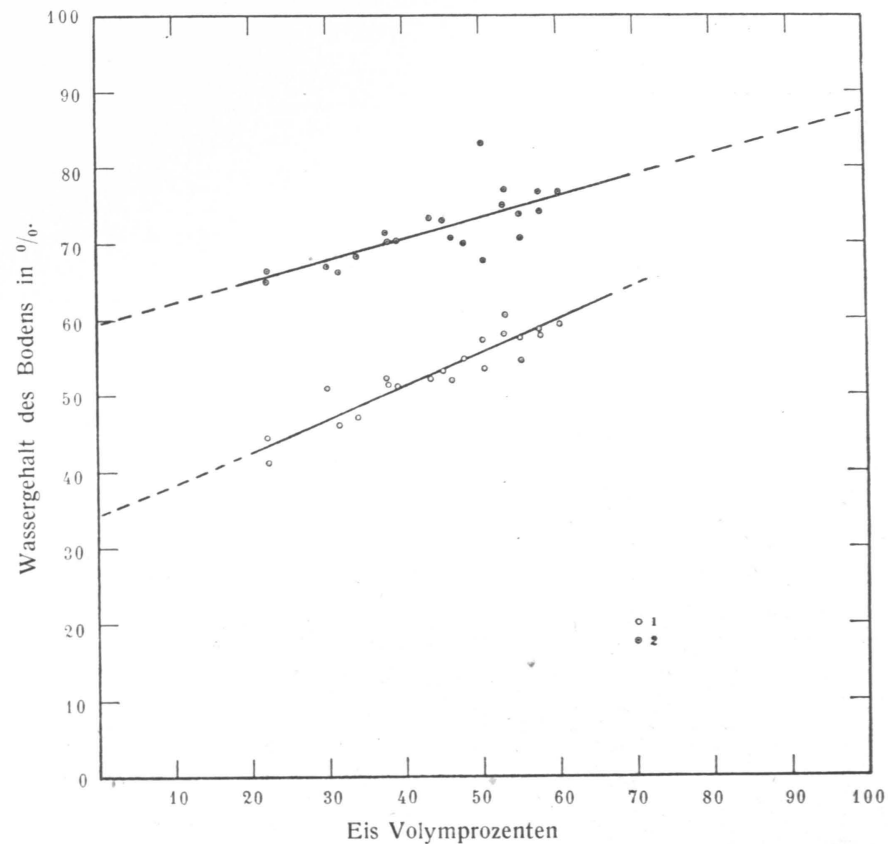


- 1 in Volymprozenten  
 2 » » (Fälle ohne Eis)  
 3 » Gewichtsprozenten  
 4 » » (Fälle ohne Eis)

Abb. 14. Das Verhältnis zwischen dem reinen Eis und dem Wassergehalt des Feinmobodens (II).

Solche Bodenfrostmessungen wurden in folgender Anzahl an verschiedenen Bodenarten ausgeführt: 41 an Feinmoboden, 21 an Tonboden. Tabelle IX, X und XI enthalten die Resultate.

Die in den Tabellen IX—XI enthaltenen Ergebnisse können graphisch dargestellt werden, und zwar so, dass die wagrechte Achse die Volumprozent des reinen Eises im Bodenfrostmstück und die senkrechte Achse den



- 1 in Gewichtsprozenten.  
 2 in Volymprozenten.

Abb. 15. Das Verhältnis zwischen dem reinen Eis und dem Wassergehalt des Tonbodens.

Gesamtwassergehalt desselben angibt. Man erhält hierbei zwei Kurven, von denen die obere den Wassergehalt in Volumprozenten und die untere in Gewichtprozenten angibt.

Die Zeichnungen Abb. 13 und 14 stellen an Feinmoboden ausgeführte Messungen dar (Tabelle IX und X). Wie aus ihnen hervorgeht, existiert ein unverkennbarer Zusammenhang zwischen der im Boden vorhandenen Wassermenge und dem reinen Eise. Nimmt die im Boden befindliche

Tabelle IX. Feinmoboden I,

Nr. des Profils	Nr. des Erdwürfels	Volumen			Gewicht in g			Wasser im Würfel		
		des Erdwürfels			g	Gewicht %	Volumen %			
		in cm <sup>3</sup>	frisch	trocken						
IV	1	36.375	43.28	18.43	24.85	57.4	68.3			
	2	19.318	28.23	14.68	13.55	48.0	70.1			
VI	1	29.140	31.79	7.42	24.37	76.8	83.6			
	2	24.019	31.06	14.19	16.87	54.3	70.2			
	3	28.814	35.79	14.43	21.36	59.7	74.1			
	4	29.122	37.80	17.24	20.56	54.4	70.6			
	5	24.928	38.99	24.30	14.69	37.7	58.9			
VII	6	23.134	33.22	19.57	13.65	41.1	59.0			
	1	23.055	22.78	5.23	17.55	77.0	76.1			
	2	21.930	27.32	12.52	14.80	54.2	67.5			
	3	32.127	40.27	17.19	23.08	57.3	71.8			
	4	35.057	41.06	15.23	25.83	62.9	73.7			
	5	18.011	26.97	15.18	11.79	43.7	65.5			
VIII	6	24.898	35.97	19.99	15.98	44.4	64.2			
	7	22.973	33.06	18.03	15.03	45.5	65.4			
	1	22.205	22.72	4.00	18.72	82.4	84.3			
	2	23.820	31.12	14.05	17.07	54.9	71.7			
	3	32.918	43.09	19.50	23.59	54.7	71.7			
	4	30.520	36.17	13.28	22.89	63.3	75.0			
	5	25.928	40.87	24.82	16.05	39.3	61.9			
	6	21.420	31.03	17.04	13.99	45.1	65.3			
	7	6.086	11.82	8.34	3.48	29.4	57.2			

Wassermenge zu, so nimmt auch das reine Eis zu. Sinkt der Wassergehalt unter ein bestimmtes Mass, so bilden sich keine reinen Eisschichten mehr, sondern das Wasser gefriert um die Erdpartikel herum, und es entsteht massiver Bodenfrost.

Iisalmi (14.—15. I. 1925).

Höhe des Würfels in mm	Zusammengerechnete Dicke der Eisschichten in mm						Eisvolumen %	Bemerkungen
	im verschiedenen Fall					durchschnittlich		
	1	2	3	4	5			
48.8	28.5	27.0	28.7	30.2	31.3	29.14	59.7	
32.1	14.1	19.3	17.7	15.9	17.0	16.90	52.3	
—	—	—	—	—	—	—	(90.0)	Eisschichten sehr unklar
23.5	7.8	9.5	9.4	9.0	—	8.93	38.0	Eisschichten unklar
28.3	17.7	17.9	17.8	18.0	18.4	17.96	63.5	
27.5	15.4	14.8	14.5	16.3	16.6	15.52	56.4	
25.3	6.9	7.5	8.4	7.5	9.1	7.88	31.1	
22.6	7.5	5.2	5.6	6.3	5.5	6.02	26.6	
—	—	—	—	—	—	—	(90.0)	Sehr eisreich
—	—	—	—	—	—	—	(65.0)	Schichten unklar
28.6	14.0	14.8	17.0	15.7	17.1	15.72	55.0	
30.6	20.9	19.2	20.0	19.7	21.3	20.22	66.1	
16.2	3.7	3.9	4.3	4.5	4.1	4.10	25.3	
22.3	7.7	8.7	7.4	7.4	7.0	7.64	34.3	
22.1	9.0	7.5	7.9	8.9	7.2	8.10	36.7	
—	—	—	—	—	—	—	(95.0)	Sehr eisreich
23.3	8.7	7.1	12.8	10.4	—	9.75	41.8	Schichten unklar
31.6	17.8	17.6	16.5	18.4	18.0	17.66	55.9	
28.9	23.1	22.7	18.3	23.6	19.3	21.40	74.0	
25.9	6.8	4.8	7.3	6.2	5.0	6.02	23.3	
21.7	4.4	6.4	6.3	7.2	—	6.18	28.5	
8.8	0	0	0	0	0	0	0	

Genau ebenso, wenn nicht noch deutlicher erkennbar verhält es sich beim Tonboden; die an diesem ausgeführten Messungsergebnisse (Tabelle XI) sind in Abb. 15 dargestellt.

Verlängert man die die Volumprocente bezeichnende Linie der Zeichnung in der durch die Punkte angegebenen Richtung nach rechts, bis sie



Tabelle X. Feinmoboden II.

Nr. des Profils	Nr. des Erdwürfels	Volumen		Gewicht in g		Wasser im Würfel		
		des Erdwürfels				g	Gewicht %	Volumen %
		in cm <sup>3</sup>	frisch	trocken				
I	7	74.175	92.32	37.15	55.17	74.4	59.8	
	II	7	38.157	43.61	15.54	28.07	73.6	64.4
III	8	29.996	39.43	17.14	22.29	74.3	56.5	
	9	14.661	28.13	21.96	6.17	42.1	21.9	
	1	26.633	45.19	29.99	15.20	57.1	33.6	
IV	2	22.355	33.93	20.05	13.88	62.1	40.9	
	3	64.755	78.87	32.80	46.27	71.5	58.7	
	1	17.043	28.43	18.18	10.35	60.7	36.3	
	2	31.051	47.67	28.41	19.26	62.0	40.4	
V	3	65.497	80.67	31.97	48.70	74.4	60.4	
	4	15.165	29.00	22.27	6.73	44.4	23.2	
	1	22.710	34.56	21.80	12.76	56.2	36.9	
	2	27.439	39.07	21.97	17.10	62.3	43.8	
VI	3	59.650	74.97	30.65	44.32	74.3	59.1	
	4	19.900	38.41	29.46	8.95	45.0	23.3	
	1	28.726	43.20	28.64	14.66	51.0	33.9	
	2	33.353	45.45	25.82	19.63	58.9	43.2	
	3	61.047	68.90	26.63	42.27	69.2	61.3	

auf die Linie trifft, welche die Menge des reinen Eises mit 100 Volumprozent angibt, so zeigt sie, wieviel Wasser das reine Eis enthält.

Man erhält dann folgendes Ergebnis:

Bodenart	Volumprozent Wasser	Spez. Gewicht des Eises
Feinmoboden I	83.5	0.835
Feinmoboden II	83.0	0.830
Tonboden	87.5	0.875

Paimio (30. XI—1. XII. 1925).

Höhe des Würfels in mm	Zusammengerechnete Dicke der Eisschichten in mm					durchschnittlich	Eisvolumen %	Bemerkungen
	im verschiedenen Fall							
	1	2	3	4	5			
50.62	32.5	29.6	33.5	30.2	30.1	31.20	61.6	
27.58	18.6	21.8	20.1	19.6	20.5	20.12	73.0	
21.54	11.7	13.0	15.2	12.3	12.6	12.96	60.2	
17.35	—	—	—	—	—	0	0	
22.38	1.9	3.1	1.8	2.0	—	2.20	9.8	
18.55	2.9	6.0	5.2	4.9	—	4.75	25.60	
50.42	33.4	27.5	35.2	34.6	34.1	32.96	65.4	
22.82	2.6	1.5	2.9	2.1	—	2.28	10.0	
24.43	6.7	4.9	5.5	6.8	—	5.98	24.5	
50.16	32.1	33.6	32.6	33.1	32.6	32.30	65.4	
12.06	—	—	—	—	—	0	0	Keine Eisschicht
22.55	3.7	6.0	2.5	4.8	—	4.25	18.8	
21.90	10.0	4.3	7.9	10.1	—	8.08	36.9	
49.62	32.9	35.2	31.0	32.0	35.4	33.30	67.1	
14.90	—	—	—	—	—	0	0	Keine Eisschicht
21.78	1.6	2.0	1.4	1.2	—	1.55	7.12	
25.70	8.4	10.1	6.1	7.5	—	8.03	31.2	
50.04	34.2	35.8	32.8	34.3	34.6	34.34	68.6	

Obenstehende Zahlen sind ein wenig kleiner als das gewöhnliche, aus der Physik bekannte spez. Gewicht des Eises (0.9). Dies beruht darauf, dass beim Gefrieren des Eises in der Erde die Verhältnisse nicht so einfach sind wie an der freien Wasseroberfläche, sondern dass sich hier der Eisbildung mancherlei Hindernisse in den Weg stellen, wie die Kapillarität, welche die Bewegung des Wassers im Erdboden hemmt und stört, das Erdmaterial, das seinerseits wieder auf die Kapillarität einwirkt und auch der Widerstand des Bodens, der aus der Veränderung

Tabelle XI. Tonboden,

Nr. des Profils	Nr. des Erd- würfels	Volumen		Gewicht in g		Wasser im Würfel		
		des Erdwürfels			g	Gewicht %	Volumen %	
		in cm <sup>3</sup>	frisch	trocken				
I	1	39.946	57.93	30.69	27.24	47.0	68.2	
	2	42.115	54.12	22.86	31.26	57.8	74.2	
	3	40.915	52.81	23.37	30.24	57.5	73.9	
	4	45.032	61.82	30.16	31.66	51.2	70.3	
II	1	41.246	59.30	32.02	27.28	46.0	66.1	
	2	46.178	58.41	27.17	31.24	53.5	67.7	
	3	38.740	50.11	21.05	29.06	58.0	75.0	
	4	43.284	59.26	28.87	30.39	51.3	70.2	
III	1	40.624	55.83	26.19	29.64	53.1	73.0	
IV	1	28.086	40.93	22.76	18.17	44.4	64.7	
	2	28.186	36.48	14.87	21.61	59.2	76.7	
V	1	27.550	36.23	17.81	18.44	50.9	66.9	
	2	29.694	37.76	14.90	22.86	60.5	77.0	
	3	60.875	79.78	33.06	46.72	58.6	76.7	
VII	3	19.555	26.66	12.83	13.83	51.9	70.7	
VIII	3	41.222	59.96	25.67	34.29	57.2	83.2	
	4	27.618	37.71	18.03	19.68	52.2	71.3	
IX	3	28.899	40.77	19.57	21.20	52.0	73.4	
X	3	26.791	34.25	15.50	18.75	54.7	70.0	
XI	3	46.604	60.45	25.50	32.95	54.5	70.6	
XII	3	19.719	31.85	18.77	13.08	41.1	66.3	

des Volumens bei dem Gefrieren des Bodens folgt. Im Hinblick hierauf darf das erzielte Resultat als befriedigend bezeichnet werden.

Verlängert man das linke Ende der Wassergehaltslinien in den graphischen Zeichnungen bis zur Linie, welche die Menge des reinen Eises mit 0 bezeichnet, so gibt erstere an, wieviel Wasser um die Erdpartikelchen herum gefriert. In den verschiedenen Böden gestalten sich die Prozentmengen folgendermassen:

Iisalmi (7.—8. I. 1926).

Höhe des Würfels in mm	Zusammengerechnete Dicke der Eisschichten in mm					Eis- volumen %	Bemerkungen
	im verschiedenen Fall						
	1	2	3	4	5		
27.95	8.3	9.3	10.9	9.3	—	9.45	33.8
28.80	18.0	16.7	19.2	15.1	14.1	16.62	57.7
28.80	16.7	15.7	15.7	15.2	15.9	15.84	55.00
31.85	14.1	12.2	12.5	12.4	10.9	12.42	39.0
27.10	7.4	8.2	10.1	8.3	—	8.50	31.4
29.60	15.8	14.3	17.5	12.7	14.2	14.90	50.3
27.84	16.0	14.0	17.6	14.7	11.4	14.74	52.9
31.41	11.8	11.8	12.9	11.0	—	11.88	37.8
27.30	11.0	12.8	11.5	15.4	10.7	12.28	45.0
30.80	6.8	6.5	6.8	7.0	—	6.78	22.0
33.87	21.9	16.7	22.4	21.8	19.2	20.4	60.2
26.20	6.6	7.7	7.8	9.2	—	7.83	29.9
31.24	13.5	21.4	14.6	18.0	15.4	16.58	53.1
35.95	20.4	20.3	20.6	21.3	20.8	20.66	57.5
22.90	9.6	8.5	12.3	11.8	—	10.55	46.1
25.22	11.0	11.0	14.2	15.7	11.4	12.66	50.2
29.40	10.7	11.3	10.2	12.0	—	11.05	37.6
33.02	14.8	14.7	14.8	12.9	—	14.30	43.3
26.50	15.0	14.1	12.2	8.4	13.5	12.64	47.7
28.14	15.7	15.1	13.6	20.1	13.2	15.54	55.2
31.65	3.9	9.9	7.2	7.1	—	7.03	22.2

Bodenart

Wasser

in Volum-% in Gewichts-%

Feinmoboden I 54 30.1

Feinmoboden II 58 30.6

Tonboden 60 34.3

Zur Kontrolle kann man die in den verschiedenen Fällen um die Erdpartikel herum gefrorene Wassermenge berechnen, indem man die



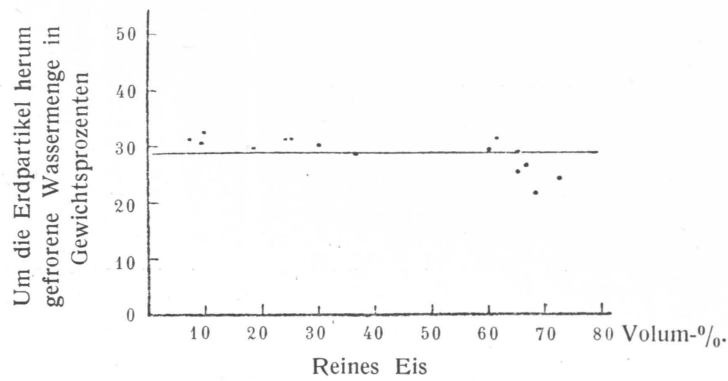


Abb. 16. (Feinmoboden I).

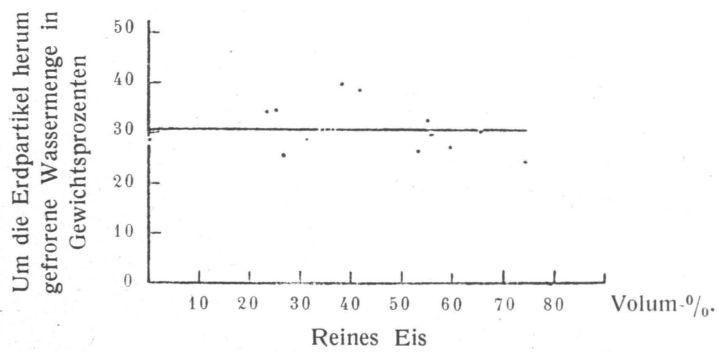


Abb. 17. (Feinmoboden II).

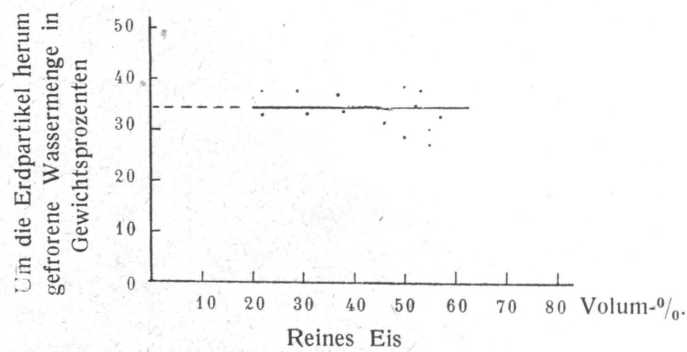


Abb. 18. (Tonboden).

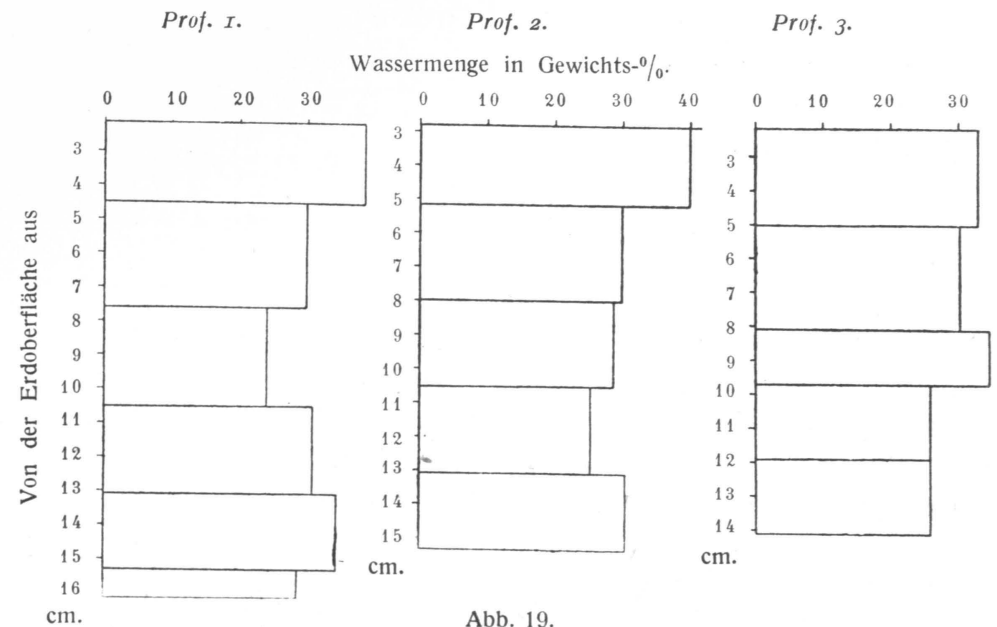


Abb. 19.

im vorigen erhaltenen Zahlen als spez. Gewicht des Eises annimmt. Man kommt dann zu folgendem Resultat:

Bodenart	Das herumgefrorene Wasser in Gewichtsprozenten <sup>1</sup>
Feinmoboden I	28.8 ± 3.0
Feinmoboden II	30.7 ± 3.9
Tonboden	34.3 ± 3.1

Wie aus den obenstehenden Zahlen zu ersehen ist, stimmen die durch die Zeichnungen und Berechnungen erhaltenen Zahlen gut überein.

Die Zeichnungen 16, 17 und 18 stellen das Verhältnis zwischen der um die Erdpartikel herum gefrorenen Wassermenge und dem reinen Eise in den verschiedenen Fällen dar. Die Linie entspricht dem Mittelwert. Die Zeichnungen dürften darauf hinweisen, dass, um so weniger

<sup>1</sup> Die Multiplikationen und Divisionen wurden mit dem Rechenlineal ausgeführt.

Wasser um die Erdpartikel herum gefriert, je mehr Eis vorhanden ist. In Abb. 19 kann man sehen, wie die um die Erdpartikel herum gefrorene Wassermenge in ein und demselben Profil variiert. Demnach wäre die betreffende Wassermenge in den unteren Bodenschichten geringer als in den oberen.

Aus dem Obigen geht hervor, dass jede Bodenart eine spezifische Wassermenge (Bodenfrostwassermenge) besitzt, die bei der Eisbildung um die Erdpartikel herum friert. Ist im Boden mehr Wasser als diese Menge vorhanden, so gefriert ihr Überschuss in isolierten, reinen Eisschichten.

Welche Bodenfrostart — massiver oder geschichteter Bodenrost — im Boden entsteht, wird von dem Wassergehalt des Bodens bestimmt.

## 2. Die Bodenstruktur.

Ein weiterer, auf die Bodenrostform einwirkender Faktor ist die Struktur des Bodens. Hierüber konnten jedoch infolge äusserer Bedingungen nur ganz allgemeine Beobachtungen neben den anderen Untersuchungen gemacht werden. Die Bodenstruktur wurde in folgender Weise klassifiziert:

- in 1. die Einzelkornstruktur und
2. die Krümelstruktur
  - a) gleichmässige und
  - b) hohlräumige Bodenstruktur.

Der Boden mit der Einzelkornstruktur ist homogen, und seine Partikelchen liegen isoliert nebeneinander gelagert. In der Krümelstruktur haben sich die Erdpartikelchen zu kleinen Krümen zusammengeschlossen, welche entweder den gleichmässigen oder den hohlräumigen Boden bilden können.

Die folgende Tabelle gibt die in dieser Beziehung gemachten Beobachtungen an.

Tabelle XII.

Beobachtung Nr.	Bodenstruktur	Bodenroststruktur	Bemerkungen
Tuusula 1	Einzelkornstruktur homogen	geschichtet	Sand
» 2	»	»	»
» 3	»	schlecht geschichtet	»
» 3 a	»	geschichtet	»
Iisalmi 1	Einzelkornstruktur sehr homogen	massiv	Trockener Boden Moboden
» 1 a	»	geschichtet	»
» 2	»	»	»
» 3	Gleichmässige Krümelstruktur	hohlräumig	»
» 4	»	»	»
Iisalmi 1	Einzelkornstruktur homogen	geschichtet	Feinmoboden
» 2	»	»	»
» 3	»	»	»
» 4	»	»	»
» 5	»	»	»
Halikko 1	Einzelkornstruktur sehr homogen	»	Steifer Ton
» 2	»	»	»
» 3	»	»	»
» 4	»	»	»
» 5	»	»	»
Halikko 1	»	»	»
» 2	»	»	»
» 3	»	»	»
» 4	»	»	»
» 5	»	»	»
Mustiala 1	Gleichmässige Krümelstruktur	gleichmässig zusammenhängend	Ton
» 2	»	geschichtet	»
» 2 a	Poröse Bodenstruktur	hohlräumig	»
» 3	Gleichmässige Krümelstruktur	geschichtet	»
» 4	»	»	»
» 5	Poröse Bodenstruktur	hohlräumig	»
Paimio 1	Einzelkornstruktur homogen	geschichtet	Ton
» 2	»	»	»
» 3	»	»	»
Käpylä 1	Einzelkornstruktur	»	Sand

Aus der Tabelle ist ersichtlich, dass der geschichtete Bodenfrost in sämtlichen Mineralbodenarten auftritt, wo die Erde Einzelkornstruktur oder gleichmässige Krümelstruktur hat. Der hohlräumige Bodenfrost ist nur bei sehr poröser Erde möglich. Der massive Bodenfrost kommt nur in einzelkörniger Erde bei geringem Wassergehalt vor.

Zusammenfassend kann über die oben behandelten, auf den Bodenfrost einwirkenden Faktoren angegeben werden:

1) Der Wassergehalt bestimmt bei einzelkörnigem Boden, ob der Bodenfrost massiv oder geschichtet ist.

2) Die Struktur des Bodens bedingt allein das Auftreten des hohlräumigen Bodenfrostes.

3) In Böden mit Krümelstruktur kann sowohl geschichteter als auch hohlräumiger Bodenfrost entstehen, ersterer in Böden mit gleichmässiger Krümelstruktur, wobei zweierlei Eisschichten, unregelmässige und zusammenhängende vorkommen, letzterer bei porösem Boden.

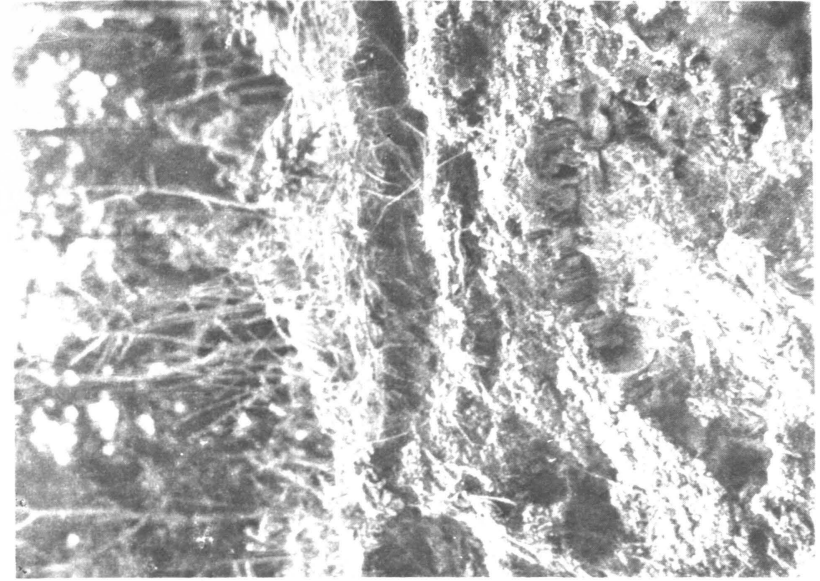


Abb. 21. Kammeisabhang. Eisnadeln liegend. Sandboden. (Massstab 1:18). Kämpflä 28. I. 25.

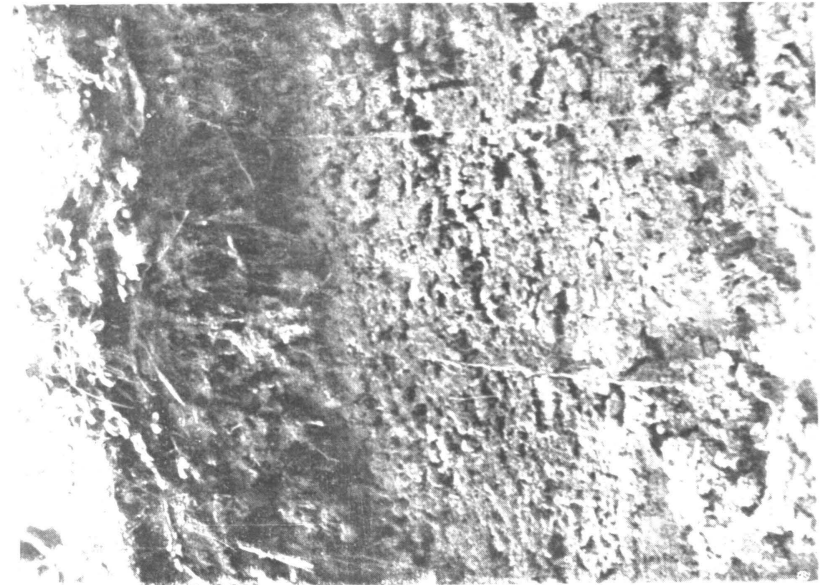


Abb. 20. Kammeisfische. Sandboden. Massstab 1:10. Kämpflä 28. I. 25.

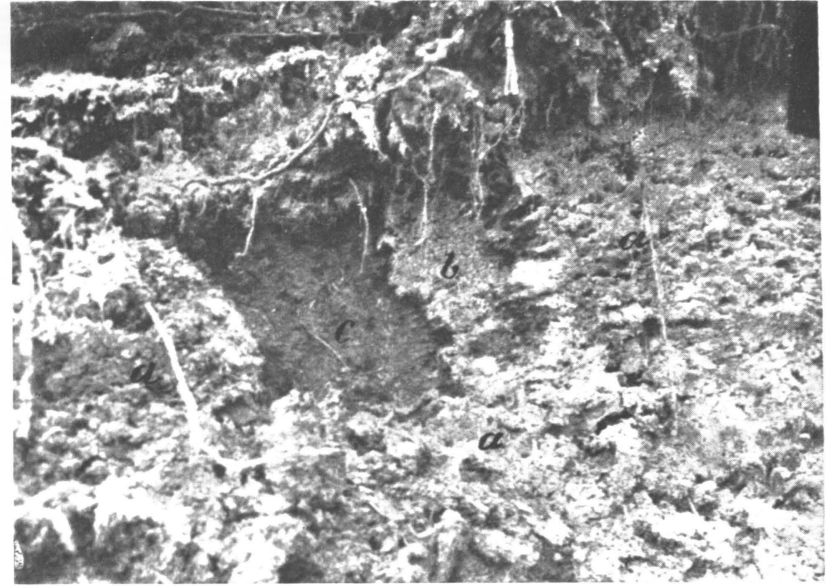


Abb. 22. Kammeis: a) ältester Teil, Dicke 13.5 cm; b) eine Nacht altes Kammeis, Dicke 5.5 cm; c) nackte Erde. Käpylä 29. I. 25.



Abb. 23. Kammeis. Die undeutlichen Teile der Nadeln sind Sand. Massstab 1:1. Käpylä 29. I. 25.

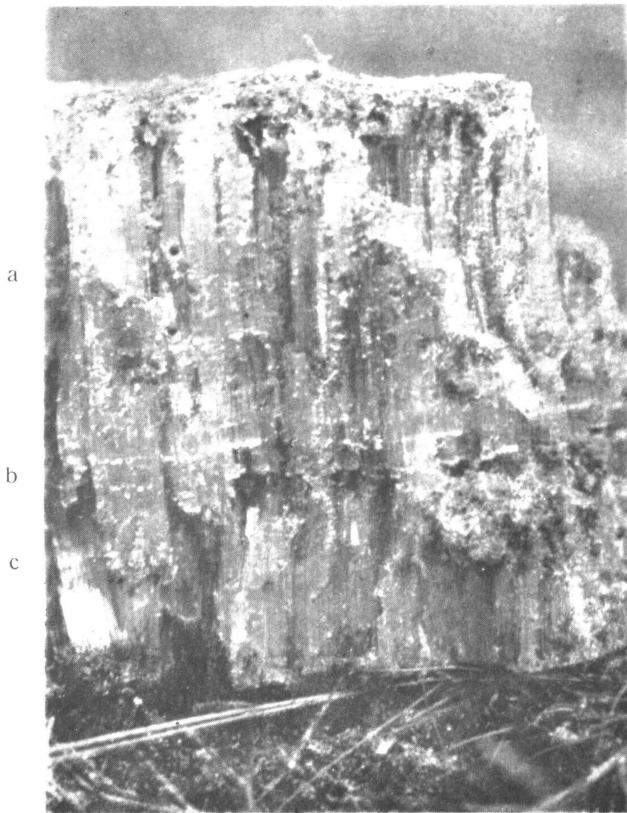


Abb. 24. Kammeisstück. Höhe 13,5 cm. Obenauf 1 mm starke unebene Erdschicht. Die Eisnadeln wenigstens in 3 verschiedenen kalten Perioden entstanden; die älteste a, dann b und die jüngste c. Käpylä 28. I. 25.

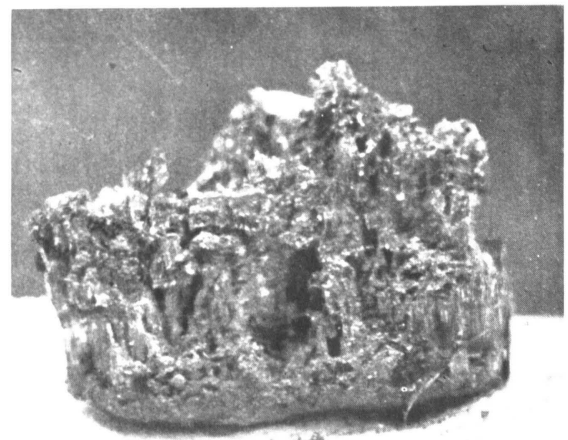


Abb. 25. Im Verlaufe einer Nacht entstandenes Kammeis. Mit dem Eis ist viel Sand emporgehoben worden. Massstab 1 : 2. Käpylä 29. I. 25.



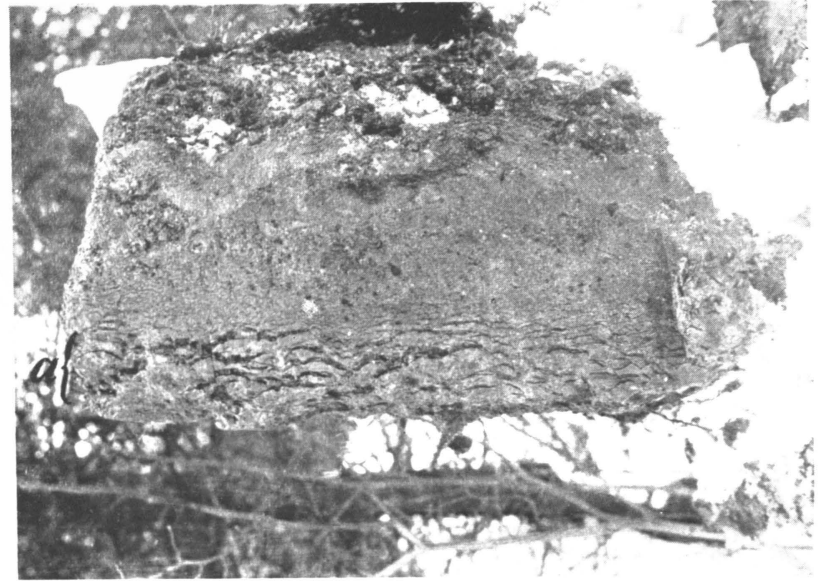


Abb. 26. Bodenfrost in Sandboden. Dicke Eisschichten (a) am unteren Rande des Bodenfrostes. Dicke des Bodenfrostes 18 cm. Tuusula, Versuchsgebiet Ruotsinkylä 23. III. 25.



Abb. 27. Geschichteter Bodenfrost in Sandboden. Eine ausserordentlich starke Eisschicht (a) am unteren Rande des Bodenfrostes. Dicke des Bodenfrostes 16 cm. Tuusula, Versuchsgebiet Ruotsinkylä 23. IV. 25.

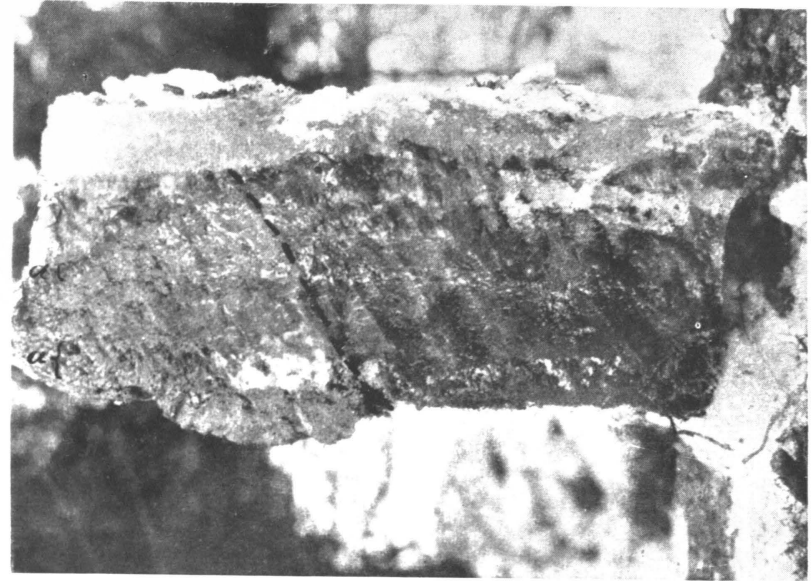


Abb. 28. Geschichteter Bodenfrost in Sand- und Torfboden. Die Eisschichten (a) auf dem Bilde weiss, teilweise schwarz. Die punktierte Linie Grenze zwischen dem torfuntermischten und dem Sandboden (links). Dicke des Bodenfrostes 16 cm. Tuusula, Versuchsgebiet Ruotsinkylä 23. III. 25.

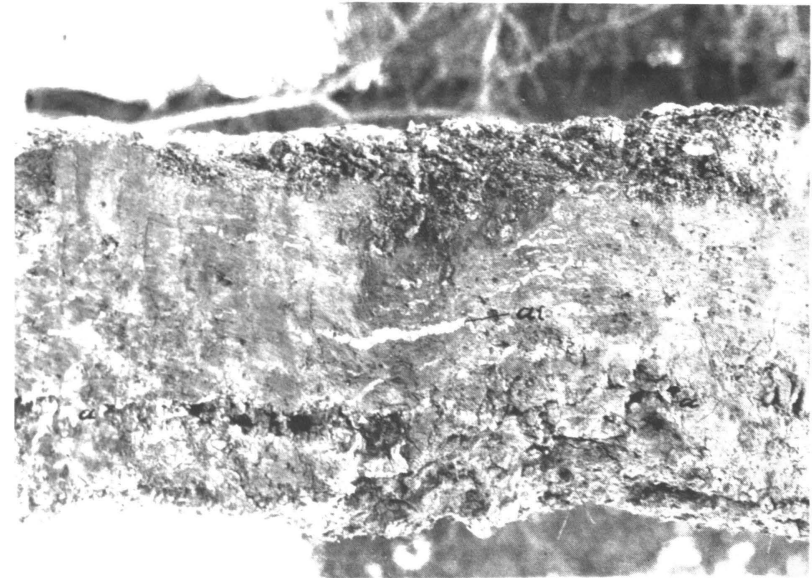


Abb. 29. Geschichteter Bodenfrost in Sandboden. Die Eisschichten (a) teils weiss, teils schwarz. Dicke des Bodenfrostes 17 cm. Tuusula, Versuchsgebiet Ruotsinkylä 23. III. 25.

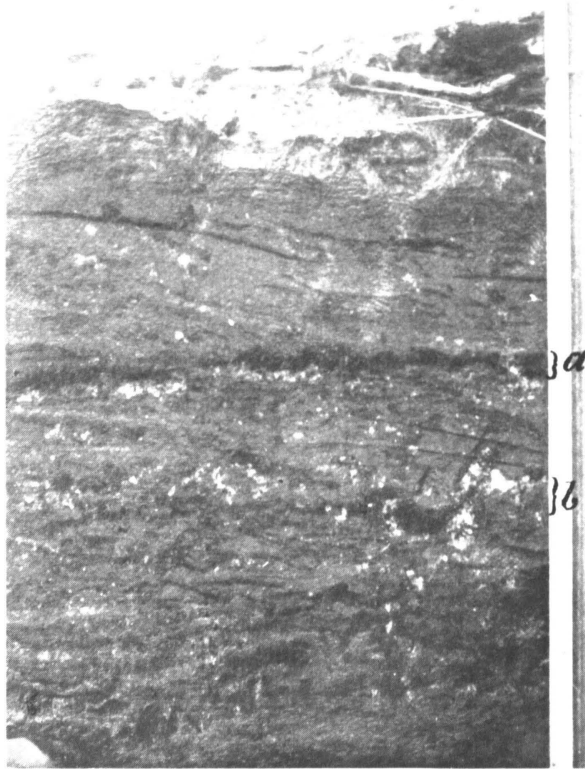


Abb. 30. Bodenfrost in Moboden. Krumenschicht 0—12 cm. Im Schnitt sind 2 Eisschichten zu sehen, von denen die oberste (a) ziemlich breit und deutlich und die unterste (b) undeutlich erscheint. Iisalmi 14. I. 25.



Abb. 31. Bodenfrost in Moboden. Aus demselben Schnitt wie der vorige, nur tiefer, der obere Rand 12 cm, der untere 24 unter der Erdoberfläche. In der Mitte eine starke Eisschicht, sonst massiver Bodenfrost. Axtspuren sichtbar, da Säuberung mit dem Messer versäumt wurde. Iisalmi 14. I. 25.





Abb. 32. Bodenfrost in Moboden. Aus demselben Schnitt wie die beiden vorigen, jedoch vom unteren Rand des Bodenfrostes, 24—36 cm tief unter der Erdoberfläche. Im oberen Teil des Bildes 2 einander folgende Eisschichten. Der übrige Teil massiver Bodenfrost, in dem kleine, mehr oder weniger wagrechte, dünne, schwarze Eisstreifen sichtbar sind. Der schwarze Schrägstreifen und die schwarzen Partikel sind Reste von Eisniederschlag. Iisalmi 14. I. 25.

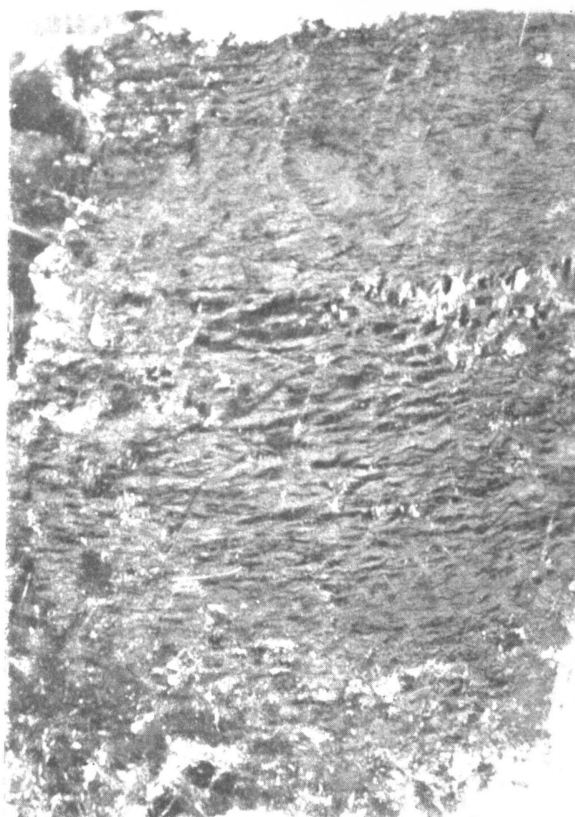


Abb. 33. Bodenfrost in Feinmoboden. Ausgesprochen geschichteter Bodenfrost. Schwarz und weiss Eis, grau Erde. Massstab 1 : 1.4. Iisalmi 14. I. 25.

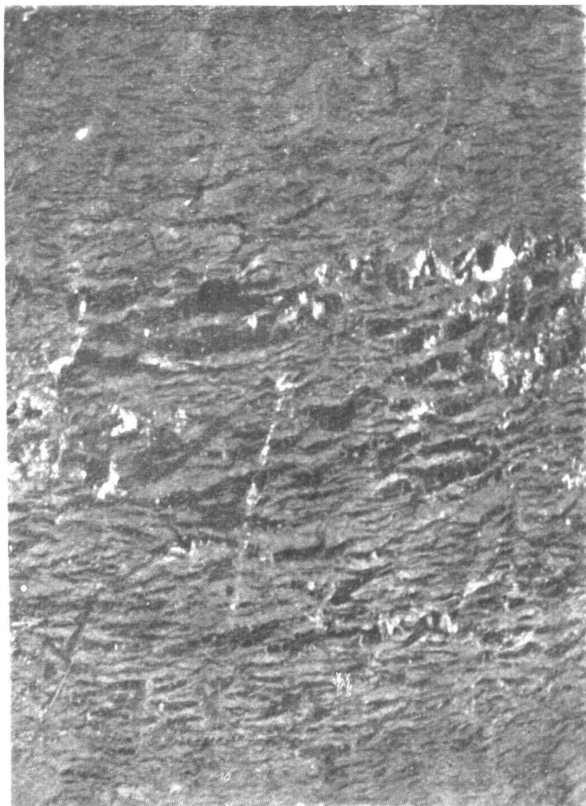


Abb. 34. Geschichteter Bodenrost in Feinmoboden. Die schwarzen (u. weissen) Streifen sind Eis, die grauen Erde. Massstab 1 : 1. Iisalmi 14. I. 25.

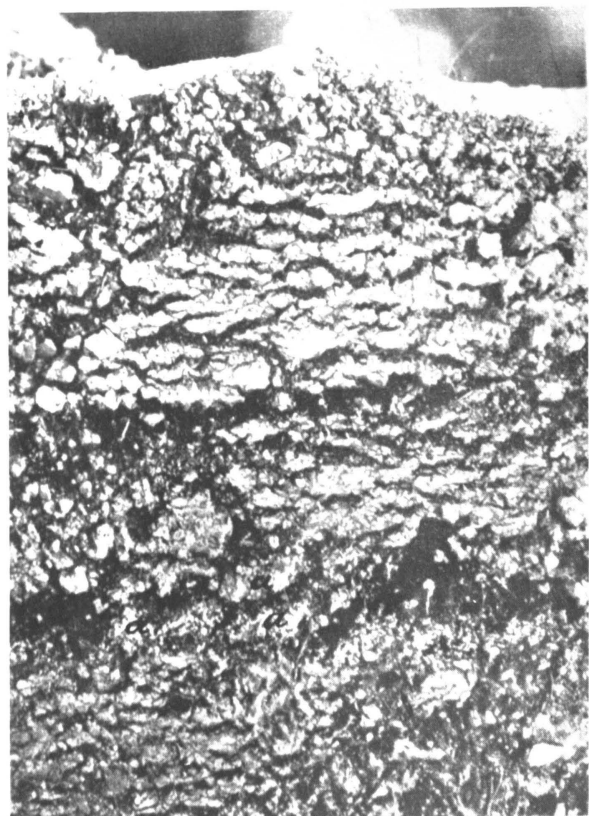


Abb. 35. Geschichteter Bodenrost in Feinmoboden. Kultivierte Mullerdschicht 0—11 cm von der Erdoberfläche aus. Die Schnittfläche war nach der Glättung, bevor sie photographiert wurde, während einer Nacht der Luft ausgesetzt, wobei aus dem Boden Wasser verdunstete und die Erde fast weiss färbte. Schwarz = Eis, beim Buchstaben a liegt Schnee an der Eisfläche, daher die undeutlichen weisslichen Schuppen. Massstab 1 : 1. Iisalmi 15. I. 25.

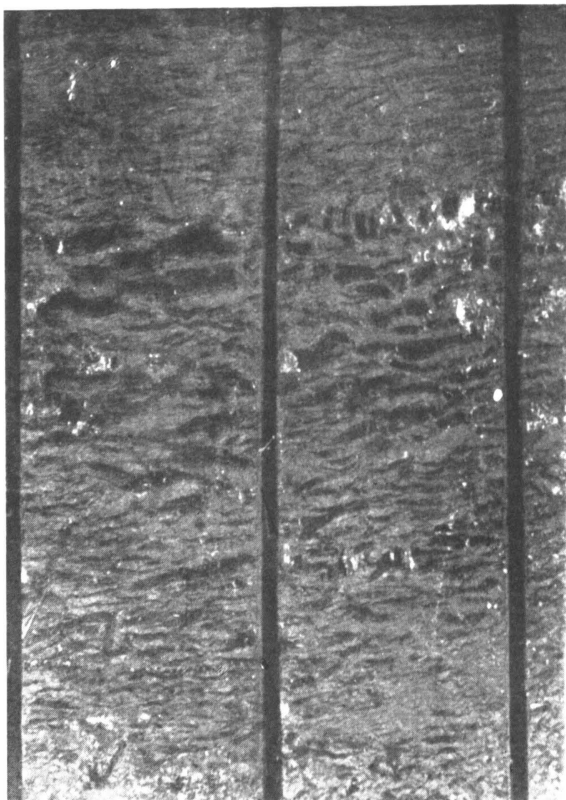


Abb. 36. Aus Feinmoboden ausgesägte Bodenrostprismen. Die von der Säge herrührenden Ritzen sind schwarz von oben nach unten. Massstab 1 : 1. Iisalmi 14. I. 25.



Abb. 37. Hohlräumiger Bodenrost in Feinmoboden. Krumenschicht 0—1 cm von der Erdoberfläche. Weiss = Eis. Massstab 1 : 1. Iisalmi 14. I. 25.

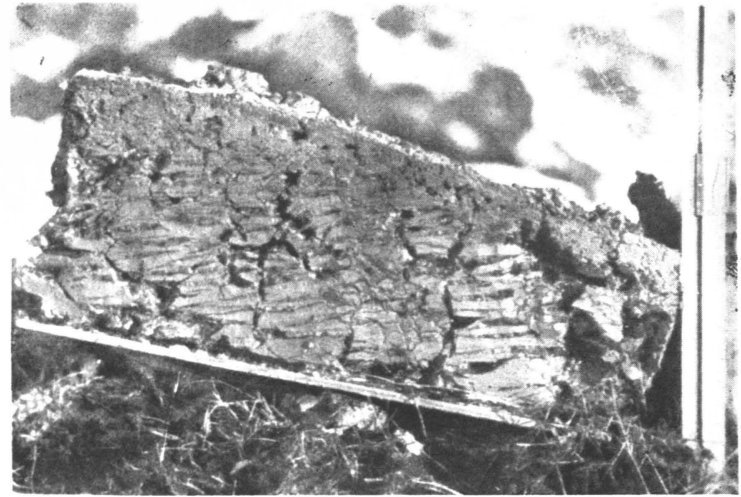


Abb. 38. Erstmaliger Bodenfrost in Tonboden. Die Eisschichten im allgemeinen wagrecht. Halikko 26. I. 25.



Abb. 39. Erstmaliger Bodenfrost in Tonboden. An der Oberfläche (a) zertrümmerter »Maschenbodenfrost«, darunter geschichteter Bodenfrost. Halikko 25. I. 25.

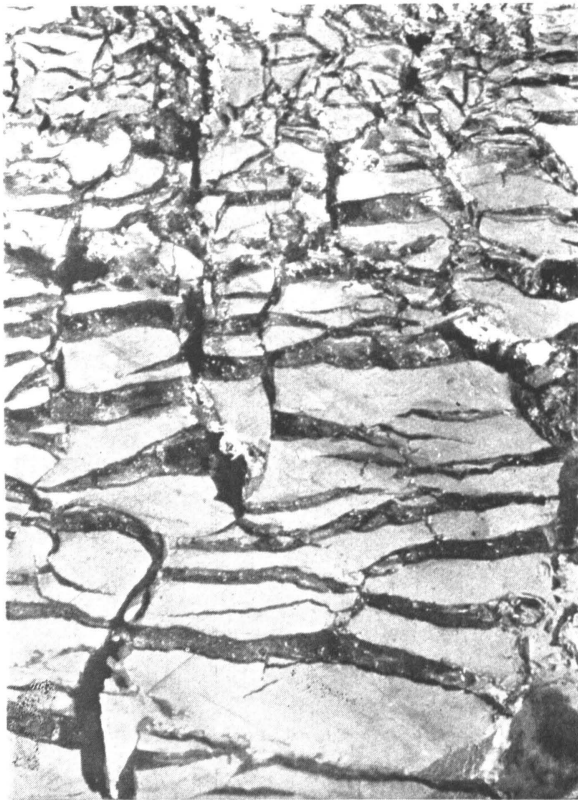


Abb. 40. Erstmaliger geschichteter Bodenrost in Tonboden. Graue Erde. Massstab 1 : 1. Halikko 27. I. 25.



Abb. 41. Erstmaliger geschichteter Bodenrost in Tonboden. Massstab 1.08 : 1. Halikko 27. I. 25.



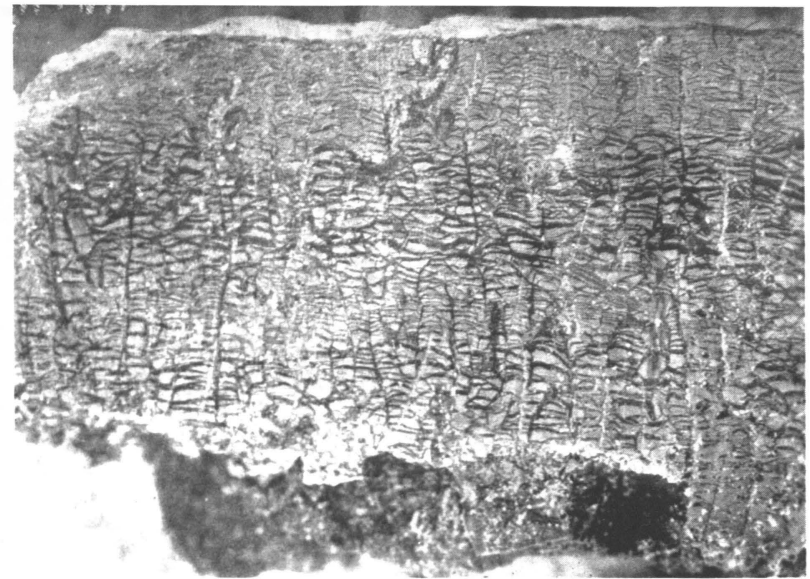


Abb. 42. Bodenfrostschnitt in steifem Ton. Die Eisschichten treten sehr deutlich als schwarze Streifen hervor. Erdmaterial grau. Masstab 1 : 3.03. Paimio 30. XI. 25.

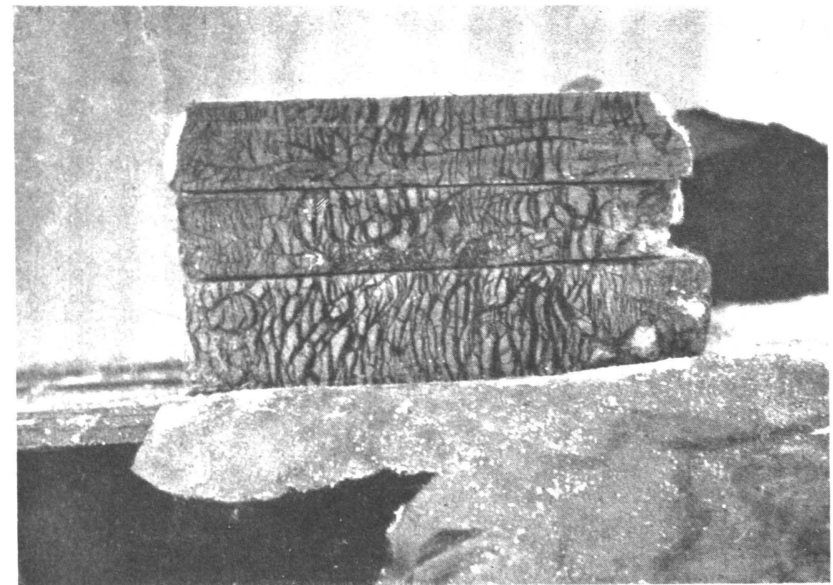


Abb. 43. Ausgesägte Bodenfrostprismen, etwa 3 cm hoch und breit. Masstab 1 : 2.7. Paimio 1. XII. 25.

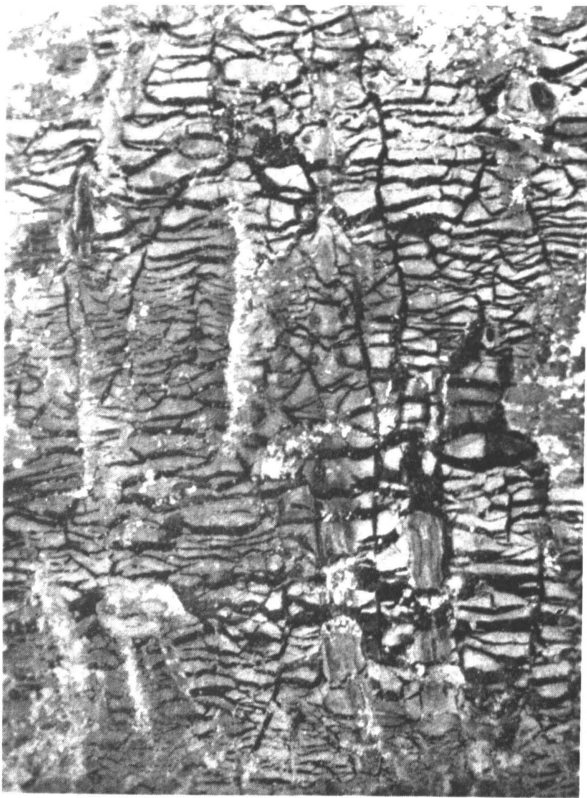


Abb. 44. Bodenfrostschnitt in steifem Ton. Besonders bemerkenswert ist die Auflösung eines Eisenniederschlags durch Einwirkung des Gefrierens des Bodens.  
Massstab 1 : 1. Paimio 1. XII. 25.



Abb. 45. Bodenfrostschnitt in steifem Ton. Eis dunkel oder hell. Massstab 1 : 1. Paimio 30. XI. 25.

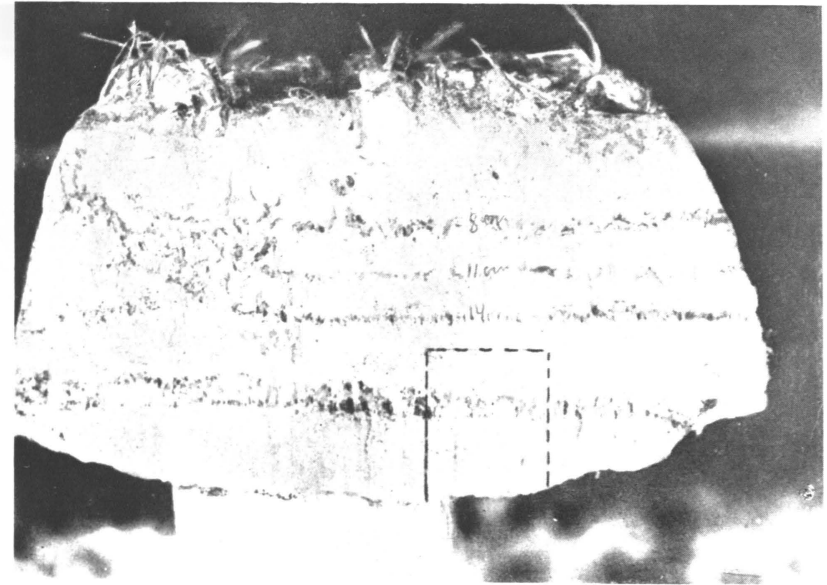


Abb. 46. Bodenfrostschnitt in steifem Tonboden. Die Eisschichten (vier) sind sehr deutlich als mit der Erdoberfläche parallel verlaufende schwarze Streifen sichtbar. Oben in der Ecke links hohlräumiger Bodenfrost. Massstab 1 : 5. Mustiala 14. III. 25.



Abb. 47. Bodenfrostschnitt in Mo-Tonboden. Dicke des Bodenfrostes 26 cm. An der Oberfläche (a) massiver Bodenfrost, in der Mitte (b) massiv-hohl-räumiger Bodenfrost, zu unterst c undeutlicher geschichteter Bodenfrost. Massstab 1 : 3.7. Mustiala 14. III. 25.



Abb. 48. Aus demselben Querschnitt wie Abb. 46 (punktierte Stelle). Eine dicke (20 mm) zusammenhängende Eisschicht (a), in der die senkrechte Nadelstruktur vorzüglich zu sehen ist. Massstab 1:1.  
Mustiala 14. III. 25.

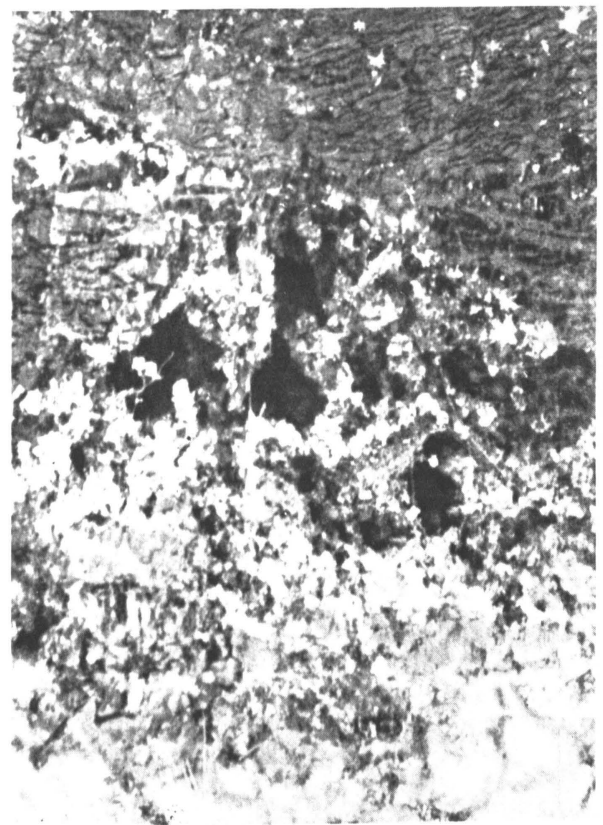


Abb. 49. Bodenfrostschnitt in Tonboden. Der Tonboden im oberen Teil des Bildes sieht wie leicht geschichteter, im mittleren Teile wie grosse Lufthohlräume (schwarz) und viel Eis (weiss) enthaltender hohlräumiger Bodenfrost aus. Massstab 1:1. Mustiala 14. III. 25.

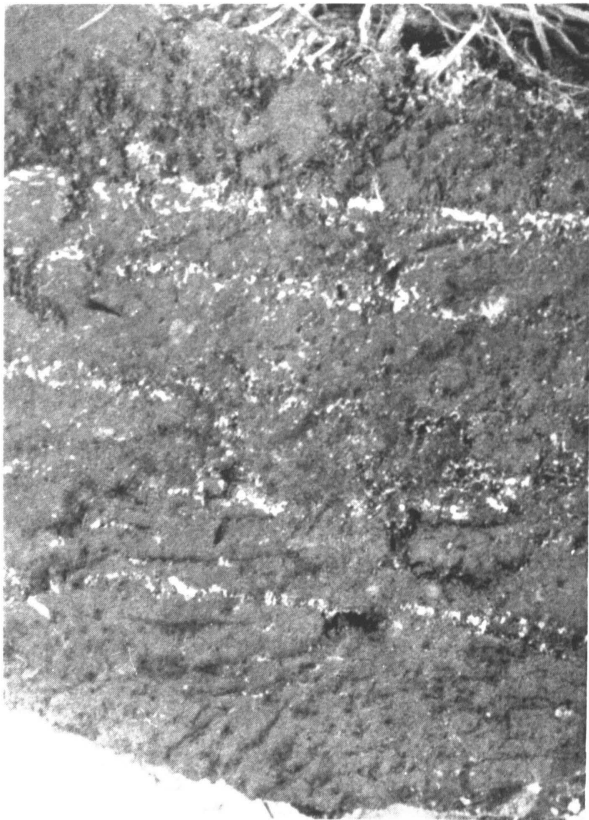


Abb. 50. Bodenfrostschnitt in Tonboden. Dicke des Bodenfrostes 26 cm. Die Eisschichten erscheinen als weisse Streifen. Zwischen den Schichten massiver und hohlraumiger Bodenfrost. Masstab 1 : 2.6.  
Mustiala 14. III. 25.

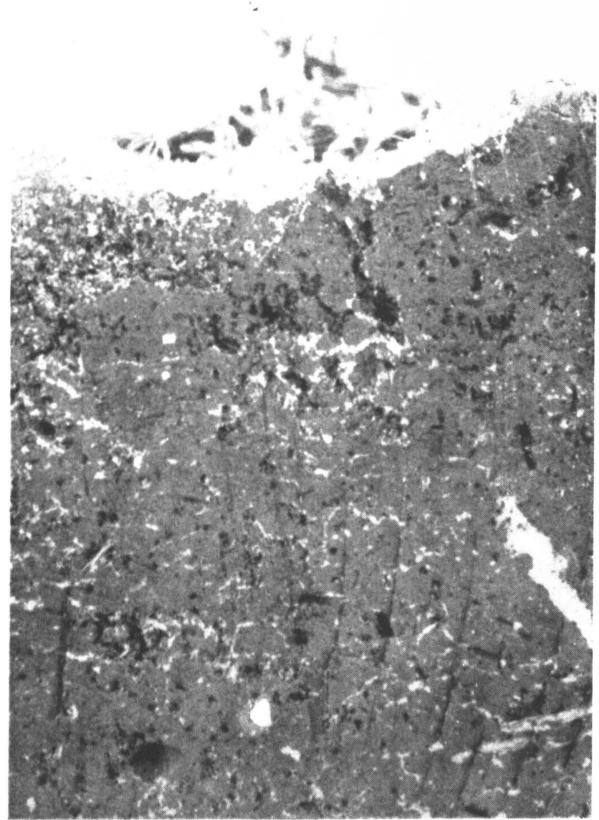


Abb. 51. Bodenfrostschnitt in Mo-Tonboden. Dicke des Bodenfrostes 38 cm. Eis weiss. Poröser Bodenfrost. Masstab 1 : 1.5. Mustiala 14. III. 25.



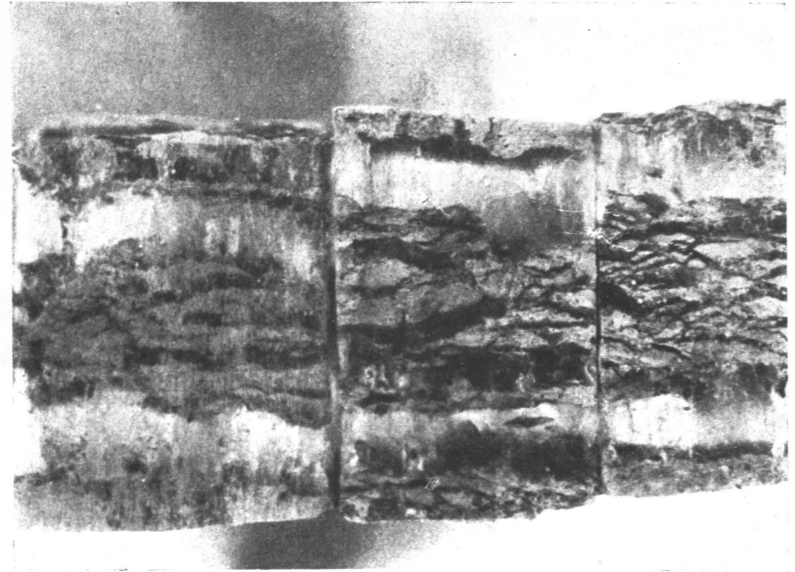


Abb. 52. Bodenfrostwürfel. Feinmoboden. Schwarz und weiss = Eis, zwei breite Eisschichten, die eine im oberen und die andere im unteren Teil. Masstab 1 : 1. Iisalmi 7. I. 26.



Abb. 53. Abgelöstes Bodenfroststück. Das Bodenfroststück steht auf der Kante. Seine Dicke ist 46 cm, sein Gewicht etwa 360 kg. Im unteren Teil des Bodenfrostes besonders dicke Eisschichten, denen die in Abb. 52 dargestellten Stücke entnommen sind. Iisalmi 7. I. 26.